

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
FAKULTA STAVEBNÍ  
KATEDRA KONSTRUKCÍ

**Zábavní park - dřevěný hrad**  
Amusement park - timber castle

Student:	Nikola Fojtíková
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Kristýna Vavrušová, Ph.D.
Odevzdání bakalářské práce:	2. 5. 2016

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra konstrukcí

## Zadání bakalářské práce

Student: **Nikola Fojtíková**  
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství  
Studijní obor: 3607R037 Konstrukce staveb  
Téma: Zábavní park - dřevěný hrad  
Amusement park - timber castle

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Navrhnete a posudíte dřevěný hrad jako součást zábavního parku.

- 1) Designový návrh dřevěného hradu.
- 2) Návrh dřevěného hradu dle bezpečnostních požadavků.
- 3) Výpočet zatížení působícího na jednotlivé prvky.
- 4) Posudek únosnosti prvků dle platných normativních požadavků.
- 5) Výkresová dokumentace.

Seznam doporučené odborné literatury:

- 1) ČSN EN 1176-1: Zařízení dětských hřišť - část 1: Všeobecné bezpečnostní požadavky a zkušební metody
- 2) Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1 Obecná pravidla - Společná pravidla pro pozemní stavby
- 3) ČSN 73 1702: Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí - Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

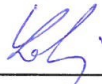
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

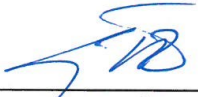
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Kristýna Vavrušová, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2015

Datum odevzdání: 02.05.2016



  
doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Radim Čajka, CSc.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: .....

.....

Nikola Fojtíková

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo,
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3),
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO,
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona,
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : .....

.....

Nikola Fojtíková

Jméno a příjmení autora práce: Nikola Fojtíková  
Adresa trvalého bydliště: Veřovice 86, Veřovice  
742 73  
Česká Republika

### **Poděkování**

Tímto bych chtěla poděkovat Ing. Kristýně Vavrušové, Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce, trpělivý a vstřícný přístup a také velmi cenné rady. Dále také děkuji rodině za podporu při studiu a jejich trpělivost.

## ANOTACE BAKALÁŘKÉ PRÁCE

FOJTÍKOVÁ, N. *Zábavní park – dřevěný hrad: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí, 2016, 123 s. Vedoucí práce: Ing. Kristýna Vavrušová, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá návrhem a výpočtem dřevěného hradu, který je součástí zábavního parku. Cílem práce je design sestavy dřevěného hradu, návrh konstrukčního řešení jednotlivých nosných i nenosných prvků hradu a následné provedení statické analýzy. Převládajícím konstrukčním materiálem je rostlé dřevo. Statická analýza jednotlivých dřevěných prvků a bezpečnostní řešení konstrukce se provádí v souladu s platnými předpisy ČSN EN.

Součástí bakalářské práce je 3D model vytvořený v programu Google SketchUp 2016 a výkresová dokumentace.

### **Klíčová slova:**

Dřevěný hrad, zábavní park, věž hradu, 3D model, děti.

## ANOTATION OF BACHELOR THESIS

FOJTÍKOVÁ, N. *Amusement park - timber castle: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Department of structure, 2016, 123 p. Thesis head: Ing. Kristýna Vavrušová, Ph.D.

Bachelor thesis deals with the design and calculation of wooden castle, which is part of the amusement park. The aim is to design reports wooden castle, a draft design solutions to individual bearing and non-bearing elements of the castle, and subsequent structural analysis. The main construction material is solid wood. Static analysis of individual wood elements and security solutions design is performed in accordance with valid standards ČSN EN.

Part of my work is a 3D model created in program Google SketchUp 2016 and design documentation.

### **Keywords:**

Timber castle, amusement park, castle tower, 3D model, children.

## Seznam

<b>ANOTACE BAKALÁŘKÉ PRÁCE .....</b>	<b>- 6 -</b>
<b>Seznam .....</b>	<b>- 7 -</b>
<b>Seznam použitých značek a symbolů .....</b>	<b>- 9 -</b>
<b>1. Dřevo .....</b>	<b>- 14 -</b>
1.1. Druhy dřevin .....	- 14 -
1.2. Struktura dřeva .....	- 14 -
1.3. Vlastnosti dřeva.....	- 16 -
1.3.1. Výhody dřeva.....	- 16 -
1.3.2. Nevýhody dřeva.....	- 16 -
1.3.3. Makroskopická stavba dřeva .....	- 16 -
1.3.4. Pracovní diagram .....	- 17 -
1.4. Degradace dřeva a jeho ochrana .....	- 18 -
1.4.1. Atmosférická koroze.....	- 18 -
1.4.2. Biologická koroze .....	- 18 -
1.4.3. Ochrana dřeva .....	- 19 -
<b>2. Zábavní park.....</b>	<b>- 20 -</b>
2.1. Popis.....	- 20 -
2.2. Historie.....	- 20 -
2.2.1. Historie v českých zemích .....	- 22 -
<b>3. Návrh zábavního parku.....</b>	<b>- 23 -</b>
3.1. Designový návrh dřevěného hradu.....	- 24 -
3.2. Použité materiály.....	- 27 -
3.2.1. Tlaková impregnace.....	- 28 -
3.2.2. Lítý polyuretan – Superelastic EPDM .....	- 29 -
<b>4. Bezpečnostní požadavky.....</b>	<b>- 30 -</b>
<b>5. Výpočet zatížení .....</b>	<b>- 32 -</b>
5.1. Zatížení uživatelem .....	- 32 -
<b>6. Materiálové charakteristiky.....</b>	<b>- 35 -</b>
<b>7. Výpočet zatížení větrem .....</b>	<b>- 36 -</b>
<b>8. Výpočet nosných prvků hradu.....</b>	<b>- 39 -</b>
8.1. Výpočet podlahových prken .....	- 39 -
8.2. Výpočet příčle .....	- 43 -
8.3. Výpočet sloupu.....	- 47 -

<b>9. Výpočet nenosných prvků hradu.....</b>	<b>- 56 -</b>
9.1. Požární tyč.....	- 56 -
9.2. Spojovací mostek .....	- 59 -
9.2.1. Podlahový nosník mostku .....	- 61 -
9.2.2. Ocelový nosník .....	- 64 -
9.3. Rampa .....	- 67 -
9.3.1. Trám zatížený lanem.....	- 67 -
9.3.2. Návrh fošen na rampě .....	- 73 -
9.3.3. Šikmý nosník .....	- 77 -
9.4. Schodiště .....	- 82 -
9.4.1. Schodišťové stupně.....	- 83 -
9.4.2. Schodnice.....	- 87 -
9.5. Žebřík .....	- 92 -
9.5.1. Stupně žebříku .....	- 92 -
9.5.2. Sloup žebříku .....	- 96 -
9.6. Vstupní most .....	- 99 -
9.6.1. Podlahové nosníky .....	- 99 -
9.6.2. Obloukový nosník.....	- 103 -
<b>10. Vybrané spoje.....</b>	<b>- 108 -</b>
10.1. Přípoj: příčel-příčel.....	- 108 -
10.2. Přípoj latě na příčel.....	- 110 -
10.3. Přípoj latí na šikmý nosník .....	- 111 -
10.4. Přípoj schodišťového stupně na krajní schodnice .....	- 114 -
<b>11. Závěr .....</b>	<b>- 116 -</b>
<b>Seznam použité literatury a zdrojů informací .....</b>	<b>- 117 -</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>- 119 -</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>- 122 -</b>
<b>Seznam příloh.....</b>	<b>- 123 -</b>



## Seznam použitých značek a symbolů

3D	Označení pro speciální část počítačové grafiky, která pracuje s trojrozměrnými objekty	
ČSN	Česká technická norma	
EN	Norma Evropské komise pro normalizaci	
A	plocha	[m <sup>2</sup> ]
A <sub>pr</sub>	plocha promítnutá do horizontální roviny	[m <sup>2</sup> ]
A <sub>v</sub>	smyková plocha	[m <sup>2</sup> ]
C <sub>dyn</sub>	dynamický součinitel	[-]
E <sub>0,05</sub>	hodnota 5% kvantilu modulu pružnosti	[MPa]
E <sub>0,mean</sub>	průměrná hodnota modulu pružnosti	[MPa]
F	síla	[kN]
F <sub>ax,Ed</sub>	návrhová osová síla na spojovací prostředek	[kN]
F <sub>ax,Rd</sub>	návrhová hodnota osově únosnosti spojovacího prostředku na vytažení	[kN]
F <sub>ax,Rk</sub>	charakteristická osová únosnost spojovacího prostředku na vytažení	[kN]
F <sub>tot,h</sub>	horizontální zatížení uživatelem	[kN]
F <sub>tot,v</sub>	vertikální zatížení uživatelem	[kN]
F <sub>v,Rd</sub>	návrhová únosnost hřebíku	[kN]
F <sub>v,Rk</sub>	charakteristická únosnost hřebíku	[kN]
G <sub>0,05</sub>	hodnota 5 % kvantilu modulu pružnosti ve smyku	[MPa]
G <sub>mean</sub>	průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	[MPa]
G <sub>n</sub>	celková hmotnost <i>n</i> dětí	[kg]
I <sub>v</sub>	intenzita turbulence	[-]
I <sub>y(z)</sub>	moment setrvačnosti k dané ose	[m <sup>4</sup> ]
L	délka	[m]

$L_{ef}$	efektivní délka	[m]
$L_{pr}$	délka prvku promítnutá do horizontální roviny	[m]
$M_{ap,d}$	návrhový moment ve vrcholové oblasti	[kNm]
$M_{Ed}$	návrhový ohybový moment	[kNm]
$M_{y,Rk}$	plastický moment únosnosti spoje	[N/mm]
$N_{Ed}$	návrhová normálová síla	[kN]
$V$	objem	[m <sup>3</sup> ]
$V_{Ed}$	návrhová posouvající síla	[kN]
$W_{y(z)}$	průřezový modul k dané ose	[m <sup>3</sup> ]
$W_{y(z),pl}$	plastický modul průřezu k dané ose	[m <sup>3</sup> ]
$b$	šířka	[m]
$c_{0(z)}$	součinitel ortografie	[-]
$c_{dir}$	součinitel směru větru	[-]
$c_{pe}$	součinitel vnějšího tlaku	[-]
$c_{pi}$	součinitel vnitřního tlaku	[-]
$c_{r(z)}$	součinitel drsnosti	[-]
$c_{season}$	součinitel ročního období	[-]
$d$	průměr	[m]
$f_{ax,k}$	charakteristická pevnost na vytažení z prvku	[N]
$f_{ax,\alpha,k}$	charakteristická pevnost na vytažení pod úhlem	[N]
$f_{c,0,d}$	návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny	[MPa]
$f_{c,0,k}$	charakteristická pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny	[MPa]
$f_{c,90,d}$	návrhová pevnost v tlaku kolmo na vlákna	[MPa]
$f_{c,90,k}$	charakteristická pevnost v tlaku kolmo na vlákna	[MPa]
$f_{h,k}$	charakteristická pevnost v otlčení	[N/mm <sup>2</sup> ]

$f_{m,d}$	návrhová pevnost v ohybu	[MPa]
$f_{m,k}$	charakteristická pevnost v ohybu	[MPa]
$f_{t,0,d}$	návrhová pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny	[MPa]
$f_{t,0,k}$	charakteristická pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny	[MPa]
$f_{t,90,d}$	návrhová pevnost v tahu kolmo na vlákna	[MPa]
$f_{t,90,k}$	charakteristická pevnost v tahu kolmo na vlákna	[MPa]
$f_{v,d}$	návrhová pevnost ve smyku	[MPa]
$f_{v,k}$	charakteristická pevnost ve smyku	[MPa]
$g$	stálé spojitě zatížení	[kN/m]
$g$	tíhové zrychlení (uvažováno $10 \text{ m/s}^2$ )	
$h$	výška	[m]
$h_{ap}$	výška vrcholové oblasti	[m]
$i_{y(z)}$	poloměr setrvačnosti k dané ose	[m]
$k_1 - k_7$	součinitele	[-]
$k_{c,y(z)}$	součinitel vzpěrnosti	[-]
$k_{crit}$	součinitel používaný pro příčnou a torzní stabilitu	[-]
$k_{dis}$	součinitel zohledňující rozložení napětí ve vrcholové oblasti	[-]
$k_l$	součinitel spojitě rozloženého zatížení	[-]
$k_m$	součinitel zohledňující redistribuci ohybových napětí v průřezu	[-]
$k_p$	součinitel spojitě rozloženého zatížení	[-]
$k_r$	redukční součinitel	[-]
$k_r$	součinitel terénu	[-]
$k_{vol}$	součinitel objemu	[-]
$k_{y(z)}$	součinitel vzpěrnosti	[-]
$l_{ef}$	účinná délka zmenšená o jeden průměr vrutu	[m]
$m$	střední hmotnost dítěte ve stanovené věkové skupině	[kg]

$n$	počet dětí na zařízení nebo části zařízení	[-]
$n_{ef}$	účinný počet spojovacích prostředků	[-]
$q_p$	proměnné spojitě zatížení	[kN/m]
$q_{p(z)}$	charakteristický maximální dynamický tlak	[kN/m <sup>2</sup> ]
$r$	poloměr zakřivení	[m]
$r_{in}$	vnitřní poloměr	[m]
$t$	tloušťka	[m]
$t_f$	tloušťka stojiny	[m]
$t_w$	tloušťka pásnice	[m]
$v_b$	základní rychlost větru	[m/s]
$v_{b,0}$	výchozí základní rychlost větru	[m/s]
$w_e$	vnější tlak větru	[kN/m <sup>2</sup> ]
$w_i$	vnitřní tlak větru	[kN/m <sup>2</sup> ]
$w_k$	výsledný tlak větru	[kN/m <sup>2</sup> ]
$z_0$	parametr drsnosti	[m]
$z_{min}$	minimální výška	[m]
$\alpha$	součinitel imperfekce	[-]
$\alpha_{ap}$	uhel sklonu náběhu ve středu vrcholové oblasti	[°]
$\beta$	poměr mezi pevnostmi v otláčení prvků	[-]
$\gamma_M$	součinitel spolehlivosti materiálu	[-]
$\gamma_{M1}$	součinitel vlastnosti materiálu	[-]
$\lambda_1$	poměrná štíhlost	[-]
$\lambda_{rel}$	poměrná štíhlost	[-]
$\lambda_{rel,m}$	poměrná štíhlost	[-]
$\lambda_{y(z)}$	štíhlostní poměry ohybu kolem dané osy	[-]

$\lambda_{y(z),real}$	štíhlostní poměry ohybu kolem dané osy	[-]
$\rho$	hustota vzduchu	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_k$	hustota dřeva	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_{mean}$	průměrná hustota	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\tau_{v,d}$	návrhové napětí ve smyku	[MPa]
$\phi$	součinitel klopení	[-]
$\chi$	součinitel klopení	[-]
$\sigma$	směrodatná odchylka příslušné věkové skupiny	[kg]
$\sigma_{c,0,d}$	návrhové napětí tlaku rovnoběžně s vlákny	[MPa]
$\sigma_{m,d}$	návrhové napětí za ohybu	[MPa]

## 1. Dřevo

Dřevo je přírodní organický buněčný materiál. Snadno se opracovává a můžeme z něj vytvářet výrobky různých tvarů. Ve stavebnictví se používá už tisíciletí a je všestranně využitelné, má široké využití ať už na stropy, schodiště či okna, ale také na mosty a lávky či dřevěné stavby například roubené, hrázděné nebo stavby z lepeného lamelového dřeva.

### 1.1. Druhy dřevin

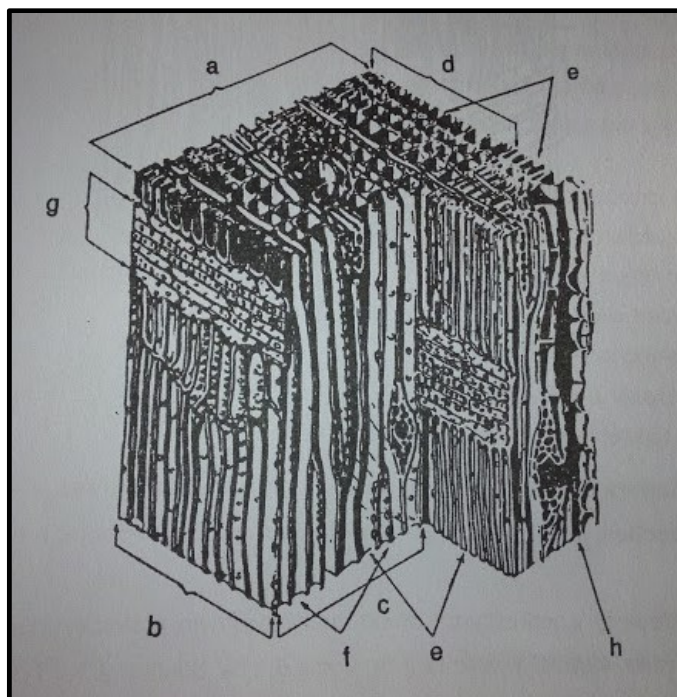
Dřeviny rozdělujeme na jehličnaté a listnaté. Dále je můžeme dělit na měkké a tvrdé. Mezi měkkými a tvrdými dřevinami ovšem není zcela přesná hranice. Každý druh dřeva má své zvláštní vlastnosti, což ovlivňuje možnosti jeho využití. Měkké dřevo je takové, které se snáze opracovává, pochází většinou z jehličnatých stromů, zatímco tvrdé dřevo se získává převážně z listnatých stromů. Příklady jednotlivých druhů dřevin je zobrazeno v tabulce 1.

Tabulka 1- Příklady druhů dřevin

Skupina	Příklady
Měkká	Smrk, jedle, borovice, topol, lípa
Středně tvrdá	Jasan, jilm, dub, ořech
Tvrdá	Habr, akát, tis

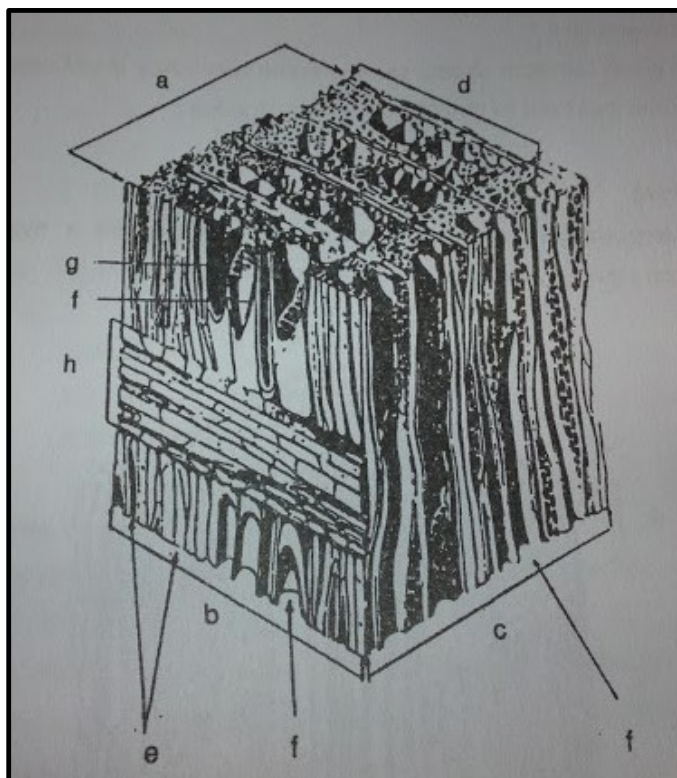
### 1.2. Struktura dřeva

Struktura jehličnatých dřevin se vyznačuje jednodušší anatomickou stavbou dřeva. Charakteristickým skladebným prvkem jsou tracheidy, které tvoří až 95 % objemu dřevní hmoty. Struktura jehličnatých dřevin je zobrazena na obrázku 1.



Obr. 1- Struktura jehličnatých dřevin [6]

Struktura listnatých dřevin je tvořena větším počtem různých buněk. Charakteristickým skladebným prvkem jsou tracheje, které tvoří až 75 % objemu dřevní hmoty. Struktura listnatého dřeva je schematicky zobrazena na obrázku 2.



Obr. 2 – Struktura listnatých dřevin [6]

### 1.3. Vlastnosti dřeva

Dřevo je anizotropní materiál, má tedy v různých směrech rozdílné vlastnosti. Výrazně se od sebe liší vlastnosti sledované rovnoběžně s vlákny a kolmo k vláknům. Ve směru kolmo k vláknům se potom ještě od sebe liší vlastnosti v radiálním a tangenciálním směru. Nejlepší parametry pevnosti i tuhosti a zároveň menší deformace od účinků teploty, sesychání či bobtnání má dřevo ve směru rovnoběžně s vlákny.

#### 1.3.1. Výhody dřeva

- přírodní, obnovitelný materiál
- mechanické vlastnosti
- nízká hmotnost
- snadná opracovatelnost
- nízká energetická náročnost
- tepelně – izolační vlastnosti

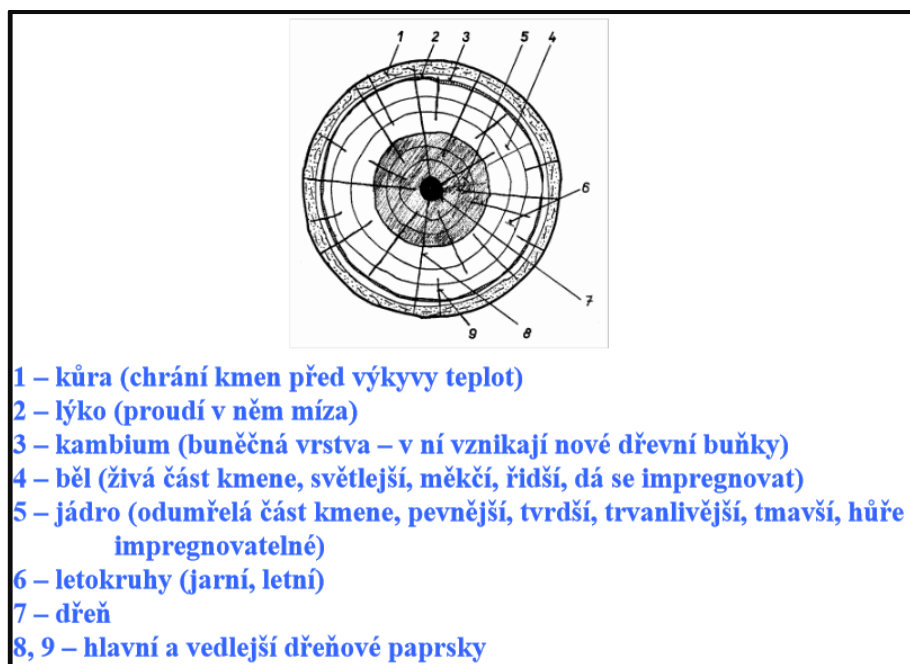
#### 1.3.2. Nevýhody dřeva

- hořlavost
- biotičtí škůdci a atmosférická koroze

#### 1.3.3. Makroskopická stavba dřeva

Dřevo tvoří centrální část kmene, větví a kořenů dřevin, a zaujímá asi 70 – 93 % objemu stromu. Při makroskopické prohlídce jednotlivých řezů dřeva můžeme pozorovat následující strukturální části, které se však nemusí vyskytovat v každého druhu: letokruhy, cévy, dřeňové paprsky, jádro, běl aj. Makroskopická struktura dřeva je zobrazena na obrázku 3.

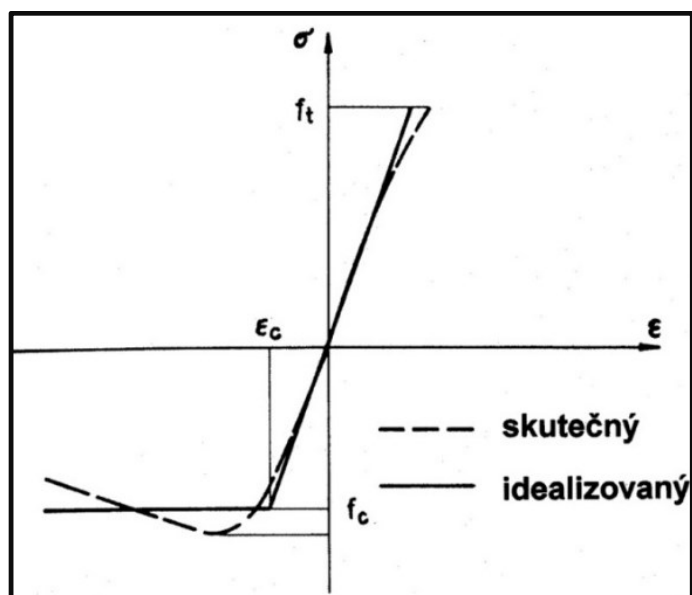




Obr. 3 – Makroskopická struktura dřeva [6]

### 1.3.4. Pracovní diagram

Na obrázku 4 je zobrazen skutečný a idealizovaný pracovní diagram dřeva pro namáhání v tlaku a tahu rovnoběžně s vlákny.



Obr. 4 – Pracovní diagram dřeva

## **1.4. Degradace dřeva a jeho ochrana**

Dřevo je náchylné k biologickému poškození, zatímco kovové části mohou korodovat. Za ideálních podmínek však dřevěné konstrukce mohou sloužit staletí bez významné biologické degradace.

U chráněné konstrukce může vzniknout biologická koroze, druhé nebezpečí je požár. U nechráněné konstrukce může vzniknout požár anebo atmosférická či biologická koroze.

### **1.4.1. Atmosférická koroze**

Mezi základními vlivy vzniku atmosférické koroze jsou:

- sluneční záření
- teplo
- změna vlhkosti
- vítr, déšť, prach

### **1.4.2. Biologická koroze**

Obecně lze říct, že k napadení dřeva biologickými škůdci jsou nutné čtyři hlavní podmínky: dostatečná vlhkost, kyslík, teplo a výživný substrát. Je třeba poznamenat, že dřevo, jehož vlhkost je trvale nižší než 18 % nebývá napadeno dřevokaznými houbami. Dřevo, jehož vlhkost je trvale nižší než 10 % nebývá napadeno dřevokazným hmyzem.

#### **Druhy biologických škůdců**

- plísně
- dřevokazné houby
  - a) celulozovorní („hnědá hniloba“)
  - b) ligninovorní („bílá hniloba“)
- dřevokazný hmyz
  - a) brouci

- b) blanokřídlí
- c) mravenci

### **1.4.3. Ochrana dřeva**

- snížení vlhkosti
- fungicidy, insekticidy
- impregnace
  - a) „černá“ (impregnace pražců)
  - b) „bílá“ beztlaková
  - c) impregnace tlaková (kotle)
  - d) impregnace beztlaková (nátěry, postřiky, namáčení, injektáže)
  - e) bandážování
- $\gamma$  záření
- plynování
- ohřev na 60 – 70 °C po dobu zhruba 5 hodin

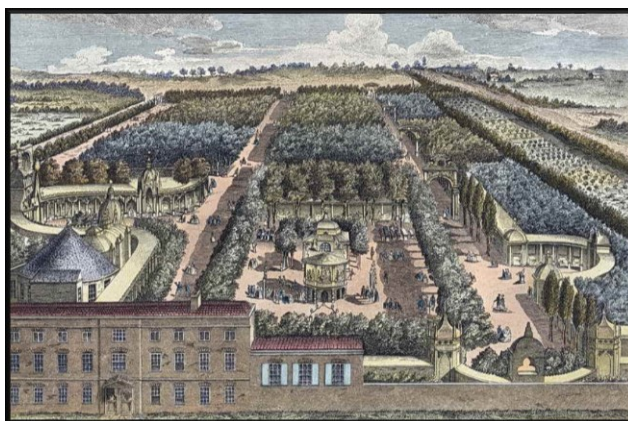
## 2. Zábavní park

### 2.1. Popis

Zábavní park také někdy označován jako lunapark je skupina zábavních atrakcí, jízd a dalších akcí v dané lokalitě pro radost dětí, rodičů, ale také pro větší skupiny lidí. Zábavní parky mají danou pevnou polohu a jsou složitější a větší než jednoduché městské parky anebo dětské hřiště. Obvykle poskytují atrakce určené pro určité věkové kategorie. Zábavní parky mohou mít svůj specifický název a téma, například vodní parky, parky s postavami z dětských kreslených pohádek nebo filmů.

### 2.2. Historie

Nejstarší zábavní park „The Hill“ byl otevřen v roce 1583 v Dánsku. Jako další místo odpočinku byly zahrady, jednou z prvních zahrad byly Vauxhall Gardens, které byly založeny v roce 1661 v Londýně. Tyto zahrady pravidelně lákaly obrovské davy, jeho cesty byly známé pro romantické procházky, ale také zde vystupovaly provazochodci, byly zde vypouštěny horkovzdušné balóny a ohňostroje. Ačkoli zahrady byly původně navrženy pro bohatší, brzy se staly místem pro všechny sociální skupiny.



Obr. 5 – Vauxhall Gardens [9]

Jeden z nejznámějších zábavních parků Prater byl otevřen ve Vídni v roce 1766. První stálá uzavřená oblast byla založena v roce 1895 v Brooklynu s názvem Sea Lion Park. Tento park byl jeden z prvních, kde se platilo vstupné a prodávaly se vstupenky na jízdu po

parku. V roce 1897 se Sea Lion Park připojil k Steeplechase Park, který tvořil první ze tří hlavních zábavních parků otevřených v Coney Island. Coney Island tvořili také Luna Park a Dreamland. Většina zábavních parků byla ze dřeva, a protože oheň byl v té době stálou hrozbou v roce 1911 vyhořel první park v Coney Island, v roce 1944 také Luna park.



Obr. 6 – Coney Island [9]

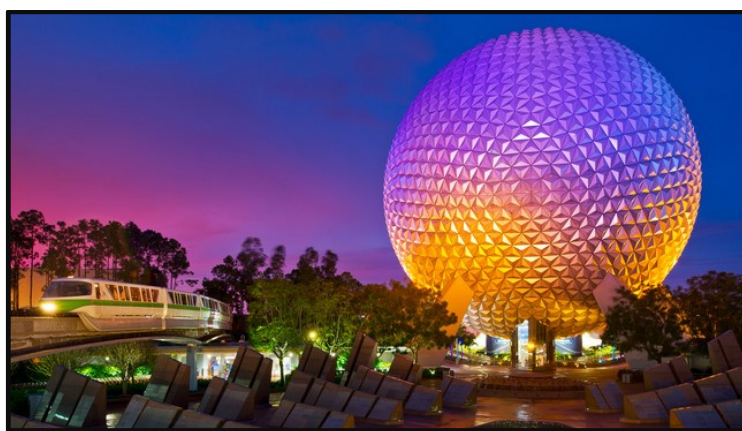
Dnes díky průmyslu jsou zábavní parky tvořeny z různých materiálů, mohou mít různé tvary a velikosti. Příklady celosvětově největších parků: Walt Disney World, SeaWorld Orlando a Universal Studios Hollywood. Existuje i bezpočet menších parků v mnoha státech USA a v mnoha zemích po celém světě. Zábavní parky mohou být také přímo zaměřené pro malé děti jako je například Legoland.



Obr. 7 – Walt Disney World [9]

Dnes také existuje mnoho vzdělávacích parků. Disney v roce 1982 otevřel první park takového typu, pojmenoval ho Epcot a byl to jeden z největších parků takového typu. Druhý park zabývající se vzděláním byl otevřen Walt Disney World Resort. Existují také zábavní parky inspirované křesťanstvím jako je například Holy Land USA. Dalším vzdělávacím parkem je Dinosaur World, který je v přírodě a slouží k naučení nejrůznějších druhů dinosaurů, také SeaWorld a Busch Gardens jsou parky, které nabízejí mnoho atrakcí na poznávání několika tisíc zvířat.

V roce 1977 byl otevřen zábavní park Puy du Fou ve Francii. Tento park je soustředěn na evropskou historii, a získal řadu mezinárodních ocenění.



Obr. 8 – Epcot [13]

### 2.2.1. Historie v českých zemích

V českém prostředí bývalo kočovné provozování zábavních atrakcí tradičně spojeno s výročními poutními slavnostmi posvěcení kostelů (posvícení). Proto se pro ně vžilo označení pout', pod nímž běžný obyvatel představí spíše zábavní park než náboženskou slavnost. Českým prototypem takového vývoje se stala jarní Matějská pout'. Historicky nejznámější zdejší atrakcí je zřejmě horská dráha Cyklon. V České republice funguje mnoho takových pojízdných podniků. Některé jsou členy Sdružení provozovatelů technické zábavy LITEZA. Toto sdružení je členem evropské asociace lunaparků.

Pevné zábavní parky v ČR:

- zábavní park na pražském výstavišti
- dinoparky



### 3. Návrh zábavního parku

Tento zábavní park se nachází v Ostravě, skládá se ze zábavního hradu, který slouží pro děti i dospělé, uvnitř se nachází dětské hřiště a také občerstvení s posezením pro rodiče aby měli své děti pořád na očích. Pro prodej lístků, suvenýrů a menšího občerstvení slouží budova, která se nachází před vstupem do zábavního parku. Tato budova je od parku oddělena plotem. Najdeme zde také toalety a místo pro odpočinek. U zábavního parku se také nachází parkoviště.

Tato bakalářská práce se věnuje návrhu a výpočtu dřevěného hradu.



Obr. 9 – Zábavní park: celý pohled



Obr. 10 – Zábavní park: pohled 1



Obr. 11 – Zábavní park: pohled 2



Obr. 12 – Vstup zábavního parku

### 3.1. Designový návrh dřevěného hradu

3D návrh dřevěného hradu byl vytvořen v programu Google SketchUp 2016.

Sestava hradu zahrnuje větší počet aktivit, rozměry hradu jsou zhruba 36×35 m. Hrad je určen především pro děti, ovšem není zapomenuto ani na rodiče dětí, kteří také mají možnost projít se po hradbách hradu. Atrakce, na které dospělí nemohou, jsou označeny. Základ tvoří věže, které jsou vzájemně propojeny. Návrh hradu je koncipován do obdélníkového tvaru. Hrad má dva vstupy, které jsou s věžemi propojeny dřevěným obloukovým mostkem (obr. 16). Vstup na druhé patro hradeb má několik možností. Jednou

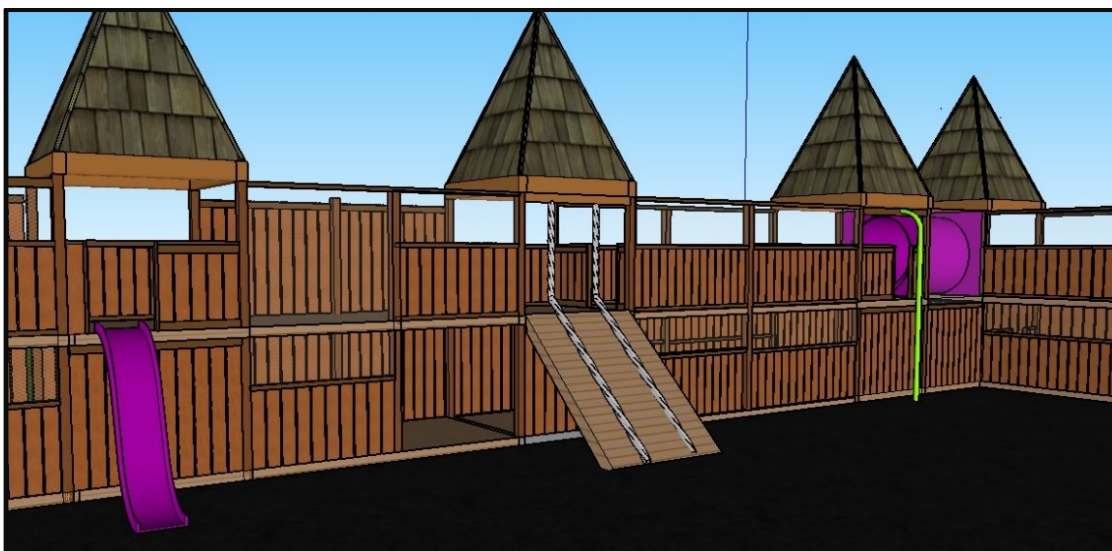


z možností je pomocí žebříků, které jsou umístěny na věžích 1,2 (obr. 16), dále také pomocí rampy s lany, které je umístěno na věži 6 (obr. 14), dále také pomocí věží 13 a 14, na kterých jsou umístěné dřevěné schody anebo také pomocí sítě (obr. 13 a 16). Stejně jako se dá do druhého patra hradeb dostat pomocí různých atrakcí hradu, také se z věží dá dostat zpět na zem. K tomu jsou určeny věže 5 a 9, na kterých je umístěna požární tyč (obr. 14 a 15) tak také věže 7 a 11 kde se nacházejí skluzavky (obr. 14 a 15) a také již zmíněná síť. V některých částech hradu je použit mostek anebo plastový tunel, který slouží k propojení hradeb. Hradby jsou tvořeny z latí, vnitřní část hradeb tvoří desky a místa kde desky nejsou, jsou z bezpečnostního hlediska vyplněny sítí. V prvním patře jsou místy vynechané desky i síť, je to pouze z bezpečnostního hlediska kvůli rychlejšímu zásahu, kdyby byla potřeba, tohle je zobrazeno např. na obr. 14.

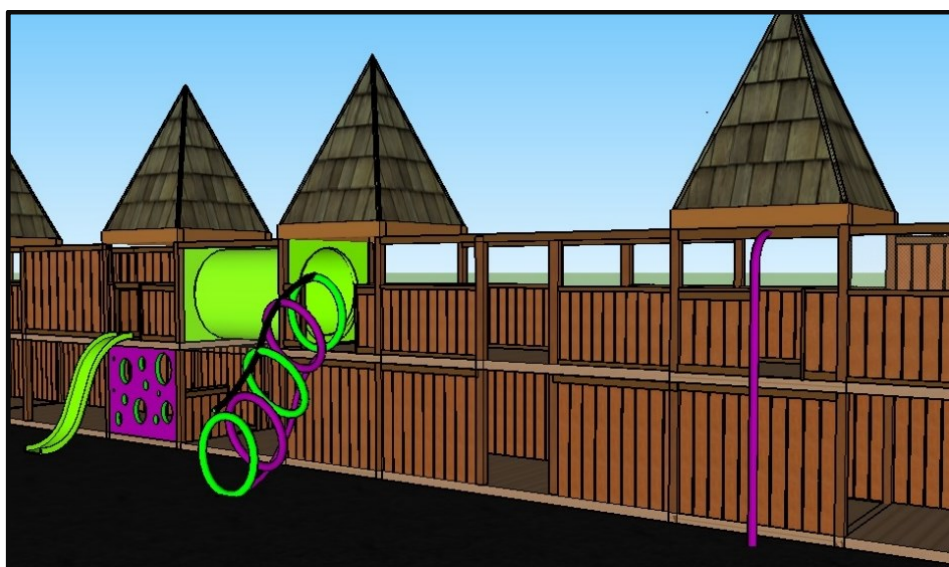
Střecha věží je plastová ve tvaru jehlanu. V místě kde střecha dosedá na dřevěné sloupy je provedeno ztužení ocelovými prvky (obr. 16). V podlaze je ztužení provedeno pomocí dřevěných tzv. „Ondřejských křížů“.



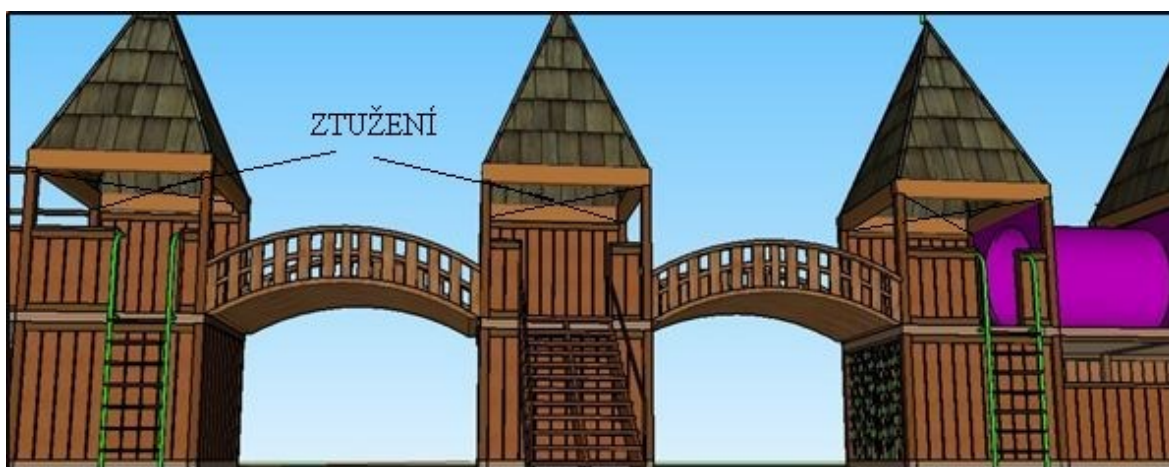
Obr. 13 – Věže č. 13, 14



Obr. 14 – Věže č. 6, 7, 9 a tunel



Obr. 15 – Věže č. 5, 11



Obr. 16 - Pohled na vstup do hradu

### 3.2. Použité materiály

Na stavbu zábavního parku je použito zejména smrkové rostlé dřevo třídy C24, v některých případech je použito lepené lamelové dřevo třídy GL24h. Na stavbu nosných prvků jsou použity prkna, fošny a latě. Všechny prvky jsou zhotoveny z pečlivě vybraného dřeva, které je hoblováno do hladka a impregnováno tlakovou impregnací.

Lana pro výstavbu rampy a sítí jsou použita jutová. Jutová lana jsou vhodná na šplh, protože nekloužou v ruce.



Obr. 17 – Jutové lano [11]

Je použita ocel třídy S235 opatřena povrchovou úpravou. Ocel je použita na požární tyč, žebřík, mostek a také na spojení jednotlivých dřevěných prvků a připojení lan k dřevu.

Střecha je uvažovaná jako plastová s objemovou hmotností  $\rho_{st}=1200 \text{ kg/m}^3$ .

Jako dopadová plocha u jednotlivých dětských aktivit je použit litý polyuretan – Superelastic EPDM od firmy Prolemax.

### 3.2.1. Tlaková impregnace

Na dřevěné prvky je použita tlaková impregnaci dřeva firmy Palis Plzeň, spol.s.r.o. Při této metodě se v tlakovém kotli (obr. 18) napouští dřevo impregnační látkou, která jej chrání jak před dřevokaznými houbami, způsobující hnilobu tak před dřevokazným hmyzem. Při tomto procesu firma používá přípravek Wolmanit CX od německé firmy Dr. Wolman GmbH.

Wolmanit CX je tekutý impregnační prostředek na bázi anorganických sloučenin mědi a boru. Přípravek je zdravotně nezávadný a šetrný k životnímu prostředí. Ochraňuje všechny dřevěné výrobky, které jsou trvale ve styku se zemí či vodou, proto je vhodná i pro dětská hřiště, palisády anebo ploty.



Obr. 18 – Tlaková impregnace [8]



### 3.2.2. Litý polyuretan – Superelastic EPDM

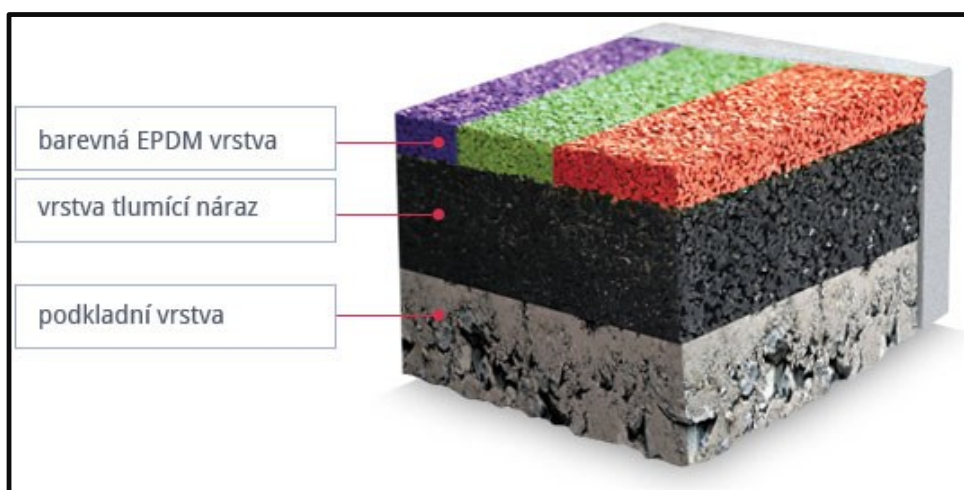
Jedná se o umělý bezpečnostní povrch, který účinně tlumí pády a zajišťuje ochranu dětí při hře na dětských hřištích. Tento moderní povrch nahrazuje dříve používaný písek, kačírek apod. Skladba tohoto protipádového povrchu je zobrazena na obr. 19.

Síla vrstvy umělého povrchu je odvozena od výšky herního prvku, pod kterým je zřízena.

Řez dětským hřištěm s tímto bezpečnostním povrchem je zobrazen na katalogovém listu firmy v příloze 1.

Výhody polyuretanových povrchů:

- Snadná údržba
- Barevná variabilita
- Ekonomická dostupnost
- Aplikace na různé typy podkladů
- Odolný a bezúdržbový
- Realizace v různě silných vrstvách



Obr. 19 – Skladba bezpečnostního povrchu [12]

## 4. Bezpečnostní požadavky

Tato kapitola je zpracována dle literatury [2] a shrnuje nedůležitější bezpečnostní požadavky na dětská hřiště.

- Konstrukce musí být sestavena tak, aby se na ní neshromažďovala voda.
- Prvky na konstrukci musí být zhotoveny z kvalitního dřeva, aby nedocházelo k tvorbě třísek.
- Na konstrukci by se neměly nacházet vyčnívající hřebíky, šrouby a komponenty s hroty nebo ostrými hranami.
- Prvky jakékoliv opory navržené k sevření musí mít nejmenší rozměr maximálně 45 mm a zároveň větší než 16 mm, při měření průřezu.
- Prvky navržené k uchopení by neměly mít rozměr větší než 60 mm, při měření průřezu.
- Plošina umístěna 1-2 m od hracího povrchu musí být opatřena zábradlím. Zábradlí by mělo být vysoké nejméně 600 mm a nesmí překročit výšku 850 mm.
- Madla na schodišti musí být minimálně 600 mm a maximálně 850 mm nad polohou nohou.
- Závity šroubů musí být trvale zakryty. Svary hladce vybroušeny.
- Žádné části konstrukce nesmí představovat nebezpečí zachycení hlavy a krku.
- Prokazuje se zkušebními sondami, které nesmí projít skrze otvory.
- Nesmí dojít k vytvoření smyčky u lanových hracích prvků.
- Žádné části konstrukce nesmí představovat nebezpečí zachycení oblečení nebo vlasů – díry, výstupky, otáčející se části konstrukce.
- Žádné části konstrukce nesmí představovat nebezpečí zachycení celého těla. Řeší se především u tunelů. Tunely delší než 2 m, které mají otvory z obou stran, musí mít průměr nejméně 750 mm.
- Povrchy pro běhání a chození musí být provedeny tak, aby nedošlo k zachycení chodidla nebo nohy. Mezery mezi nášlapnými prvky nesmí být větší než 30 mm.

- Žádné části konstrukce nesmí představovat nebezpečí zachycení prstů. Jedná se především o díry, kde se uživatel může zachytit při nuceném pohybu nebo při hře.
- Konce rour a trubek musí být zabezpečeny/ uzavřeny.
- Výška volného pádu nesmí být větší než 3 m.
- Volný prostor okolo požární tyče musí být minimálně 350 mm.
- Dětská hřiště se musí pravidelně kontrolovat. Důraz je kladen na kontrolu opotřebení prvků, spojů a vznik výše uvedených nebezpečných situací.

## 5. Výpočet zatížení

Tato kapitola je zpracována dle literatury [2] přílohy A.

Zatížení dětských hřišť se dělí na dvě kategorie – Zatížení trvalá a proměnná.

Mezi trvalá zatížení patří:

- vlastní hmotnost konstrukce a montážních celků
- předpětí (například prostorové sítě, lanové dráhy)
- hmotnost vody, pokud jsou v konstrukci zahrnuty jakékoliv zásobníky vody

Mezi zatížení proměnná patří:

- zatížení uživatelem (blíže popsáno v kapitole 5.1)
- zatížení sněhem
- zatížení větrem
- zatížení teplotou
- zvláštní zatížení

### 5.1. Zatížení uživatelem

Počet dětí se vypočítá podle následujících vztahů:

**Počet uživatelů na prvcích přímého typu:**

- a) přímé prvky se sklonem do 60 ° včetně:

$$n = \frac{L_{pr}}{0,6} \quad (5.1.1)$$

- b) přímé prvky se sklonem větším než 60 °

$$n = \frac{L}{1,2} \quad (5.1.2)$$



**Počet uživatelů na ploše:**

- a) plochy se sklonem do 60 ° včetně:

$$n = \frac{A_{pr}}{0,36} \quad (5.1.3)$$

- b) plochy se sklonem větším než 60 °

$$n = \frac{A}{0,72} \quad (5.1.4)$$

**Počet uživatelů v objemu:**

- a) pro objemy
- $V \leq 4,3 \text{ m}^3$
- :

$$n = \frac{V}{0,43} \quad (5.1.5)$$

- b) pro objemy
- $4,3 < V \leq 12,8 \text{ m}^3$
- :

$$n = 10 + \frac{(V - 4,3)}{0,85} \quad (5.1.6)$$

- c) pro objemy
- $V > 12,8 \text{ m}^3$
- :

$$n = 20 + \frac{(V - 12,8)}{1,46} \quad (5.1.7)$$

Celková hmotnost se vypočítá podle následujícího vztahu

$$G_n = n \cdot m + 1,64 \cdot \sigma \cdot \sqrt{n} \text{ [kg]} \quad (5.1.8)$$

**Výpočet dynamického součinitele**

Dynamický součinitel představuje zatížení vyvolané pohybem (během, dováděním, atd.) uživatelů včetně nárazově zatěžovaného materiálu.

$$C_{dyn} = 1 + 1/n \text{ [-]} \quad (5.1.9)$$

Výsledné vertikální zatížení uživatelem se stanoví dle vztahu:

$$F_{tot,v} = g \cdot G_n \cdot C_{dyn} \text{ [N]} \quad (5.1.10)$$

Výsledné horizontální zatížení uživatelem se vypočítá dle vztahu:

$$F_{tot,h} = 0,1 \cdot F_{tot,v} \text{ [N]} \quad (5.1.11)$$

**Rozdělení zatížení uživatelem:**

- a) bodová zatížení

$$F = F_{tot,v} \text{ [N]} \quad (5.1.12)$$

- b) zatížení na přímce

$$q = \frac{F_{tot,v}}{L} \text{ [N/m]} \quad (5.1.13)$$

- c) zatížení v ploše

$$p = \frac{F_{tot,v}}{A} \text{ [N/m}^2\text{]} \quad (5.1.14)$$

- d) objemová zatížení

$$q = \frac{F_{tot,v}}{L} \text{ [N/m]} \text{ nebo } p = \frac{F_{tot,v}}{A} \text{ [N/m}^2\text{]} \quad (5.1.15)$$

## 6. Materiálové charakteristiky

Pro výrobu dřevěného hradu je použito smrkové dřevo třídy C24 a lepené lamelové dřevo třídy GL24h. Materiálové charakteristiky pro statický výpočet dle literatury [5], výsledné hodnoty jsou zobrazeny v tabulce 2.

Tabulka 2 – Materiálové charakteristiky RD a LLD

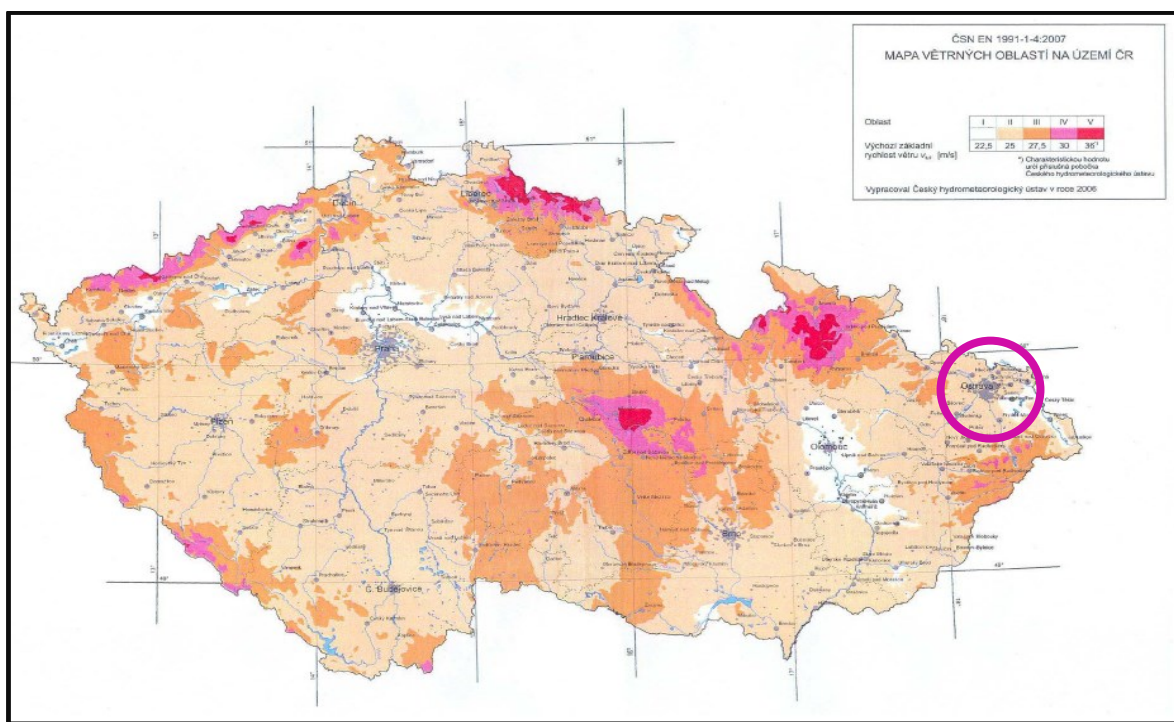
		RD - C24	LLD – GL24h
PEVNOSTNÍ CHARAKTERISTIKY [MPa]			
Ohyb	$f_{m,k}$	24	24
Tah	$f_{t,0,k}$	14	18
	$f_{t,90,k}$	0,5	0,35
Tlak	$f_{c,0,k}$	21	24
	$f_{c,90,k}$	2,5	5,5
Smyk	$f_{v,k}$	2,5	2,8
MODULY PRUŽNOSTI [GPa]			
Modul pružnosti	$E_{0,mean}$	11	11
	$E_{0,05}$	7,4	8,8
	$E_{90,mean}$	0,37	-
OBJEMOVÉ HMOTNOSTI [kg/m <sup>3</sup> ]			
Hustota	$\rho_k$	350	380
Průměrná hustota	$\rho_{mean}$	420	-

## 7. Výpočet zatížení větrem

Jedním ze základních parametrů pro určení zatížení konstrukcí větrem je charakteristický maximální dynamický tlak  $q_p$ , který zahrnuje střední rychlost větru a krátkodobou turbulentní složku. Maximální tlak je ovlivněn povětrnostními podmínkami dané oblasti, místními vlivy (například drsností terénu, ortografií oblasti) a výškou nad terénem.

### POVĚTRNOSTNÍ PODMÍNKY

Povětrnostní podmínky jsou dány dle různých oblastí v jednotlivých evropských státech a popisují se hodnotami charakteristické desetiminutové střední rychlosti větru  $v_{b,0}$  (tzv. výchozí základní rychlosti větru). Tyto hodnoty jsou pro českou republiku zobrazeny dle mapy zobrazené na obrázku 20.



Obr. 20 – Výchozí rychlosti větru pro ČR

**Základní rychlost větru  $v_b$  lze určit ze vztahu:**

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad 1,00 \cdot 1,00 \cdot 25 = \frac{25 \text{ m}}{\text{s}} \quad (7.1)$$

Kde součinitel směru větru  $c_{dir}$  a součinitel ročního období  $c_{season}$  se pro běžné případy uvažují hodnotou 1,00. Střední rychlost pro oblast Ostrava je dle obr. 20 rovna 25 m/s.

### MÍSTNÍ VLIVY

Střední rychlost větru  $v_m(z)$  ve výšce  $z$  nad terénem je ovlivněna místními vlivy, jako jsou drsnost terénu a ortografie, které se vyjadřují pomocí součinitele drsnosti  $c_r(z)$  a součinitele ortografie  $c_o(z)$ .

**Součinitel drsnosti  $c_r(z)$** , lze určit ze vztahu:

$$c_{r(z)} = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0} = 0,215 \cdot \ln \frac{5}{0,3} = 0,606 \quad (7.2)$$

Musí platit podmínka:  $z \geq z_{min}$ , kde  $z$  je výška objektu, která je uvažována jako 5 m,  $z_{min}$  je minimální výška, jedná se o tabulkovou hodnotu, v tomto případě se rovná 5 m pro oblast terénu III.

**Součinitel terénu  $k_r$**  se určí ze vztahu:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215 \quad (7.3)$$

Kde  $z_0$  je parametr drsnosti terénu, který je dán z tabulky pro oblast terénu III. jako 0,3

### CHARAKTERISTICKÝ MAXIMÁLNÍ DYNAMICKÝ TLAK

Pro určení výsledného zatížení větrem je významný charakteristický maximální dynamický tlak  $q_p(z)$ , který se stanoví ze vztahu:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v_b^2 = [1 + 7 \cdot 0,355] \cdot \frac{1}{2} 1,25 \cdot 25^2 = 0,5 \text{ kN/m}^2 \quad (7.4)$$

kde:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o(z) \cdot \ln \frac{z}{z_0}} = \frac{1}{1 \cdot \ln \frac{5}{0,3}} = 0,355 \quad (7.5)$$

### VÝSLEDNÝ TLAK NA KONSTRUKCI

Rozlišuje se tlak působící na vnější povrchy  $w_e$  a tlak působící na vnitřní povrchy  $w_i$ .

Tlak větru  $w_e$  působící na vnější povrchy se vypočítá dle vztahu 7.6:

$$w_e = q_p(z) \cdot c_{pe} \quad (7.6)$$

Tlak  $w_i$  působící na vnitřní povrchy se vypočítá dle vztahu 7.7:

$$w_i = q_p(z) \cdot c_{pi} \quad (7.7)$$

Výsledný tlak větru je dán vektorovým součtem tlaků působících na vnější a vnitřní povrch posuzované plochy:

$$w_k = w_e + w_i = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) \quad (7.8)$$

Hodnoty  $c_{pi}$  jsou zobrazeny v tabulce 3.

Tabulka 3 – Hodnoty  $c_{pi}$

$C_{pe,10}$ (A)	-1,2
$C_{pe,10}$ (B)	-0,8
$C_{pe,10}$ (C)	-0,5
$C_{pe,10}$ (D)	0,7
$C_{pe,10}$ (E)	-0,3

## VÝSLEDNÉ TLAKY VĚTRU NA KONSTRUKCI

V tabulce 4 jsou zobrazené výsledné tlaky pro jednotlivé součinitele vnitřního tlaku.

Tabulka 4 – Výsledné tlaky a sání větru

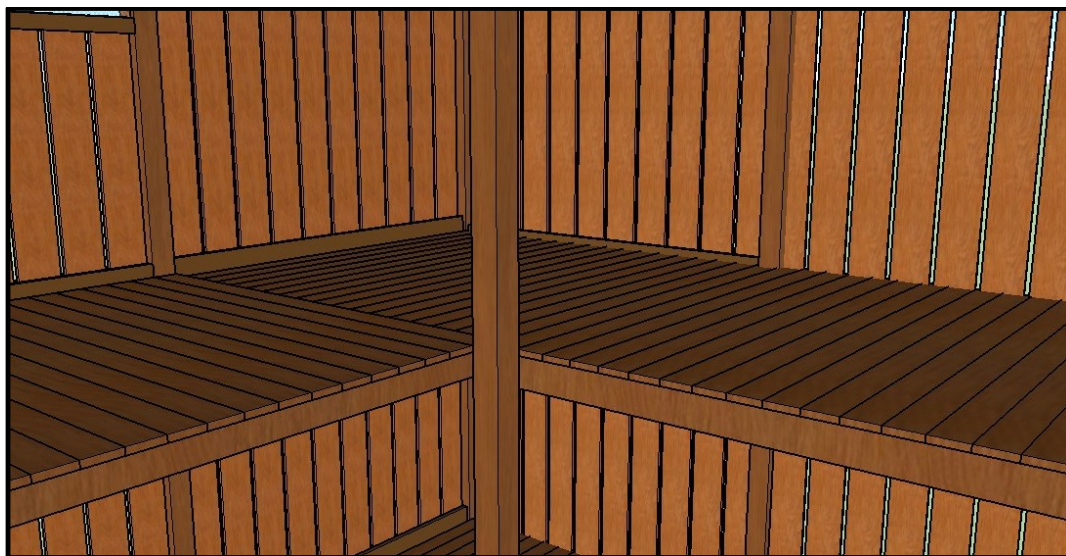
Součinitel vnitřního tlaku $c_{pi,10} = 0,2$			Součinitel vnitřního tlaku $c_{pi,10} = -0,3$		
$w_k$ (A)	-0,7	kN/m <sup>2</sup>	$w_k$ (A)	0,15	kN/m <sup>2</sup>
$w_k$ (B)	-0,5	kN/m <sup>2</sup>	$w_k$ (B)	0,15	kN/m <sup>2</sup>
$w_k$ (C)	-0,35	kN/m <sup>2</sup>	$w_k$ (C)	0,15	kN/m <sup>2</sup>
$w_k$ (D)	0,25	kN/m <sup>2</sup>	$w_k$ (D)	0,15	kN/m <sup>2</sup>
$w_k$ (E)	-0,25	kN/m <sup>2</sup>	$w_k$ (E)	0,15	kN/m <sup>2</sup>

## 8. Výpočet nosných prvků hradu

Tato kapitola je věnována výpočtu jednotlivých nosných prvků věží a hradeb. Tyto prvky jsou přístupné i pro dospělé, proto je počítáno s normovými hodnotami dle literatury 1. Je uvažováno s kategorií C3 – plochy, kde může docházet ke shromažďování lidí. Normová hodnota pro rovnoměrné spojitě zatížení je  $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$ , a pro soustředěná užitná zatížení  $Q_k = 4 \text{ kN}$ .

### 8.1. Výpočet podlahových prken

Návrh je vytvořen z prken, které jsou osazeny na příčle a ty jsou následně upevněné na sloupy hradeb, anebo sloupy věže hradu. Prkna jsou uvažována jako spojitý nosník a dvou polích. Délka jednoho prkna je  $L=2,7 \text{ m}$ . Statické schéma prken je zobrazeno na obr. 22.



Obr. 21 – Vizualizace podlahových prken

**Předběžný návrh rozměrů průřezu prvku:**

$$h = 30 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

**Průřezové charakteristiky prvku:**

$$A = h \cdot b = 0,03 \cdot 0,15 = 0,0045 \text{ m}^2 \quad (8.1.1)$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,15 \cdot 0,03^3 = 3,365 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4 \quad (8.1.2)$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,15 \cdot 0,03^2 = 2,250 \cdot 10^{-5} m^3 \quad (8.1.3)$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{3,365 \cdot 10^{-7}}{0,0045}} = 0,00865 m \quad (8.1.4)$$

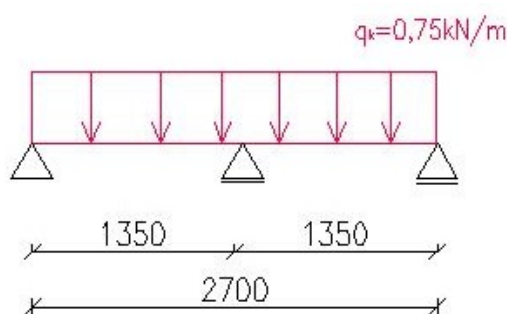
**Vlastní tíha prken:**

$$g_k = h \cdot b \cdot \rho = 0,03 \cdot 0,15 \cdot 3,5 = 0,0158 kN/m \quad (8.1.5)$$

**Proměnné zatížení:**

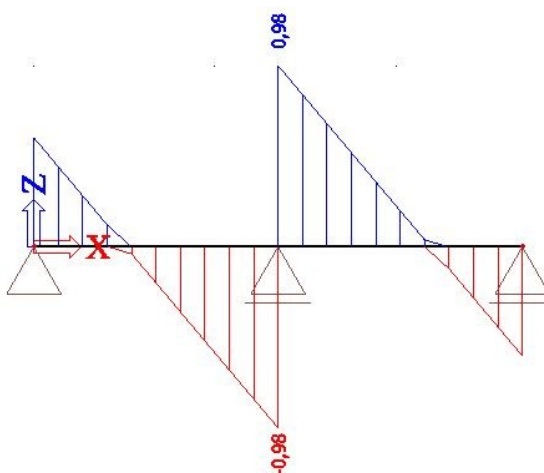
Na prkna působí zatížení proměnné zatížení od uživatelů, které je rovno:

$$q_{k,uživ} = q_k \cdot b = 5 \cdot 0,15 = 0,75 kN/m \quad (8.1.6)$$



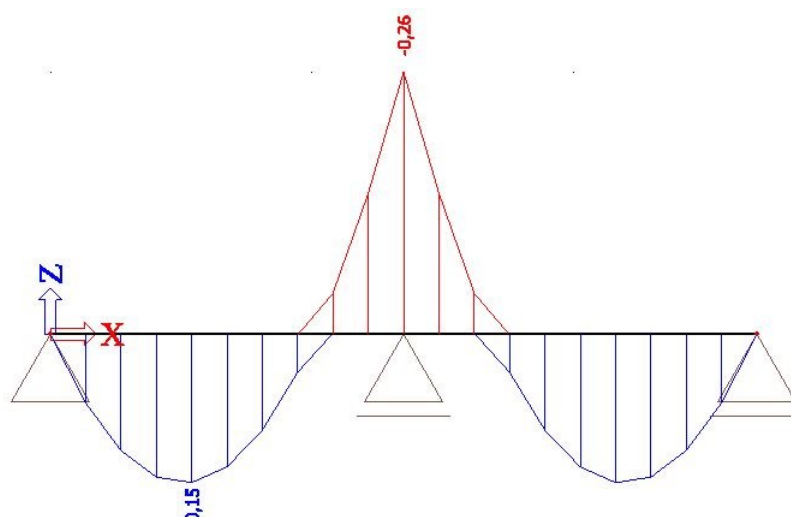
Obr. 22 – Statické schéma latí

Výpočet byl proveden v programu Scia Engineer 2015. Byla vytvořena kombinace MSÚ – soubor B, kde byly použity dva zatěžovací stavy – vlastní tíha prken a proměnné zatížení uživatelem.



Obr. 23 – Průběh posouvajících sil na nosníku





Obr. 24 – Průběh ohybových momentů na nosníku

**Maximální posouvající síla  $V_{Ed}$ :**

$$V_{Ed} = 0,98 \text{ kN}$$

**Maximální ohybový moment  $M_{Ed}$ :**

$$M_{Ed} = 0,26 \text{ kNm}$$

#### Posouzení latě na ohyb a smyk

**Návrhová pevnost v ohybu, rostlé dřevo, třída provozu 3**

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{24}{1,3} = 12 \text{ MPa} \quad (8.1.7)$$

**Návrhová pevnost ve smyku, rostlé dřevo, třída provozu 3**

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{2,5}{1,3} = 1,25 \text{ MPa} \quad (8.1.8)$$

**Normálové napětí za ohybu**

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{0,26 \cdot 10^3}{2,250 \cdot 10^{-5}} = 11,556 \text{ MPa} \quad (8.1.9)$$

- Nosník je po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} \quad (8.1.10)$$

$$11,556 \leq 12$$

Nosník na ohyb vyhovuje

- Nosník není po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě

#### Kritické napětí za ohybu

$$L_{ef} = 0,9 \cdot L = 0,9 \cdot 1,35 = 1,215 \text{ m} \quad (8.1.11)$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{h \cdot L_{ef}} = \frac{0,78 \cdot 0,15^2 \cdot 7400 \cdot 10^6}{0,03 \cdot 1,215} = 3\,562,963 \text{ Mpa} \quad (8.1.12)$$

#### Poměrná štíhlost

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{3562,963 \cdot 10^6}} = 0,082 \quad (8.1.13)$$

#### Součinitel příčné a torzní stability

$$k_{crit} = 1$$

#### Normálové napětí za ohybu

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d} \quad (8.1.14)$$

$$11,556 \leq 1 \cdot 12$$

Nosník na ohyb vyhovuje

#### **Smykové napětí**

Podle literatury [5] se určuje tzv. efektivní šířka průřezu pro výpočet plochy působící ve smyku. Do výpočtu se zavede součinitel trhlin  $k_{cr}$ , ten je pro rostlé dřevo stanoven hodnotou 0,67.

#### Účinná šířka průřezu

$$k_{cr} = 0,67$$

$$A_{eff} = k_{cr} \cdot b \cdot h = 0,67 \cdot 0,15 \cdot 0,03 = 0,003 \text{ m}^2 \quad (8.1.15)$$

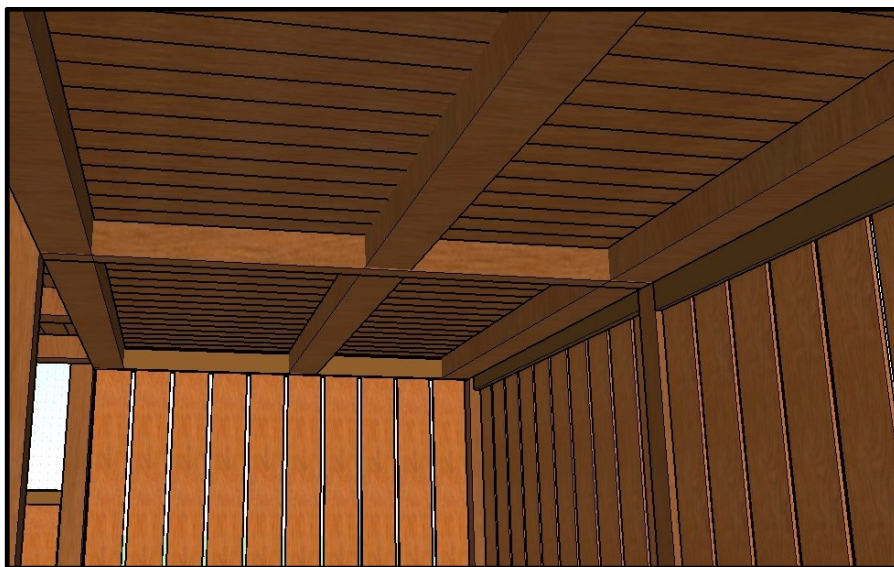
$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,98 \cdot 10^3}{0,003} = 0,49 \text{ MPa} \quad (8.1.16)$$

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d} = 0,49 \leq 1,25$$

Nosník na smyk vyhovuje

## 8.2. Výpočet příčle

Příčle jsou tvořeny hranoly, které jsou upevněné ke sloupům. Statické schéma příčle je zobrazeno na obr. 26. Příčel je uvažovaná jako prostý nosník podepřený na koncích. Nejdelší příčel na celém hradu má délku  $L=5\text{ m}$ , proto návrh byl počítán s touto délkou. Pokud příčel vyhoví na tuto délku, vyhoví i na kratší délky.



Obr. 25 – Vizualizace příčlí

### Předběžný návrh rozměrů průřezu prvku:

$$h = 150\text{ mm}$$

$$b = 200\text{ mm}$$

### Průřezové charakteristiky prvku:

$$A = h \cdot b = 0,15 \cdot 0,2 = 0,03\text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,2 \cdot 0,15^3 = 5,625 \cdot 10^{-5}\text{ m}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,2 \cdot 0,15^2 = 7,5 \cdot 10^{-4}\text{ m}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{5,625 \cdot 10^{-5}}{0,03}} = 0,014\text{ m}$$

### Vlastní tíha příčle:

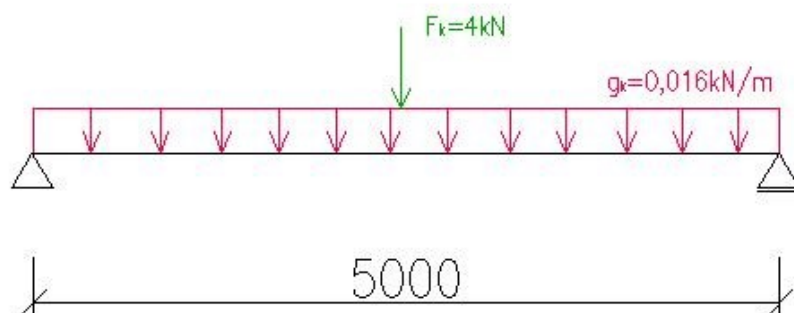
$$g_k = h \cdot b \cdot \rho = 0,15 \cdot 0,2 \cdot 3,5 = 0,105\text{ kN/m}$$

**Proměnné zatížení:**

Na příčel působí zatížení proměnné zatížení od uživatelů, které je rovno:

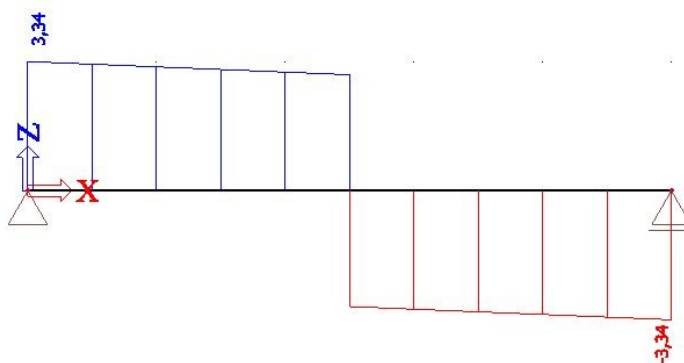
$$q_k = q_k \cdot b = 5 \cdot 0,2 = 1 \text{ kN/m}$$

Toto zatížení je však poměrně malé, proto bylo počítáno s bodovou silou jednoho uživatele, která vyvodí větší ohybový moment na jednu příčel. Podle literatury [1] se bodová síla jednoho uživatele rovná  $Q_k=4 \text{ kN}$ .

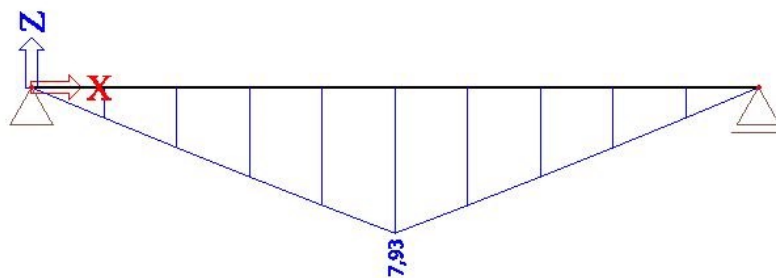


Obr. 26 – Statické schéma příčle

Výpočet byl proveden v programu Scia Engineer 2015. Byla vytvořena kombinace MSÚ – soubor B, kde byly použity tři zatěžovací stavy – vlastní tíha příčle, rovnoměrné spojité zatížení od prken a proměnné zatížení uživatelem.



Obr. 27 - Průběh posouvajících sil na nosníku



Obr. 28 - Průběh ohybových momentů na nosníku

**Maximální posouvající síla  $V_{Ed}$ :**

$$V_{Ed} = 3,34 \text{ kN}$$

**Maximální ohybový moment  $M_{Ed}$ :**

$$M_{Ed} = 7,93 \text{ kNm}$$

**Posouzení příčle na ohyb a smyk**

**Návrhová pevnost v ohybu, rostlé dřevo, třída provozu 3**

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{24}{1,3} = 12 \text{ MPa}$$

**Návrhová pevnost ve smyku, rostlé dřevo, třída provozu 3**

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{2,5}{1,3} = 1,25 \text{ MPa}$$

**Normálové napětí za ohybu**

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{7,93 \cdot 10^3}{7,5 \cdot 10^{-4}} = 10,573 \text{ MPa}$$

- Nosník je po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$$

$$10,573 \leq 12$$

Nosník na ohyb vyhovuje

- Nosník není po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě

**Kritické napětí za ohybu**

$$L_{ef} = 0,9 \cdot L = 0,9 \cdot 5 = 4,5 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{h \cdot L_{ef}} = \frac{0,78 \cdot 0,2^2 \cdot 7400 \cdot 10^6}{0,15 \cdot 4,5} = 342,044 \text{ MPa}$$

Poměrná štíhlost

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{342,044 \cdot 10^6}} = 0,265$$

Součinitel příčné a torzní stability

$$k_{crit} = 1$$

Normálové napětí za ohybu

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}$$

$$10,573 \leq 1 \cdot 12$$

Nosník na ohyb vyhovuje

**Smykové napětí**

Účinná šířka průřezu

$$k_{cr} = 0,67$$

$$A_{eff} = k_{cr} \cdot b \cdot h = 0,67 \cdot 0,2 \cdot 0,15 = 0,0201 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{3,34 \cdot 10^3}{0,0201} = 0,25 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d} = 0,25 \leq 1,25$$

Nosník na smyk vyhovuje

### 8.3. Výpočet sloupu

Pro výpočet sloupu byl zvolen trám rohové věže, který je průběžný přes celou výšku hradu. K výpočtu byla zvolena nejhorší kombinace zatížení, na ostatní zatížení sloup vyhoví. Sloup je uvažován jako sloup o dvou polích, který je vetknutý u podlahy, kloubově podepřen uprostřed a na horním okraji. Celková délka sloupu  $L=5\text{ m}$ . Statické schéma věže je zobrazeno na obr. 33.



Obr. 29 – Vizualizace sloupu a příčlích

#### Stálé zatížení

##### a) Střecha

Byla zvolena plastová střecha o objemové hmotnosti  $\rho_{st}=1200\text{ kg/m}^3$ , tloušťka stěn střechy byla zvolena  $t_l=0,2\text{ m}$ .

#### Objem střechy

$$V_{st} = 2,185\text{ m}^3$$

#### Výsledná síla na jeden trám věže

$$F_{st} = \frac{\rho_{st}/100 \cdot V_{st}}{4} = \frac{12 \cdot 2,185}{4} = 6,555\text{ kN}$$

##### b) Zábradlí

Zábradlí se skládá z prken ( $240 \times 50\text{ mm}$ ) a trámu ( $100 \times 100\text{ mm}$ ). Byla zvolena nejhorší kombinace a to ta, že zábradlí je po celé výšce a délce.

▪ Síla od prken

$$F_1 = \rho \cdot h \cdot b \cdot L = 3,5 \cdot 0,24 \cdot 0,05 \cdot 2,5 = 0,105 \text{ kN}$$

Na  $l=2,5$  m bude 10 latí výsledná síla pro 10 latí:

$$10 \cdot F_1 = 10 \cdot 0,105 = 1,05 \text{ kN}$$

▪ Síla od trámu

$$F_2 = \rho \cdot h \cdot b \cdot L = 3,5 \cdot 0,1 \cdot 0,1 \cdot 2,5 = 0,0875 \text{ kN}$$

Výsledná síla od zábradlí pro rohovou věž:

$$F_z = 2 \cdot (1,05 + 0,0875) = 2,275 \text{ kN}$$

**c) Podlaha**

Podlaha se skládá z prken ( $150 \times 30$  mm) a příčle1 ( $200 \times 150$  mm) a příčle2 ( $100 \times 150$  mm).

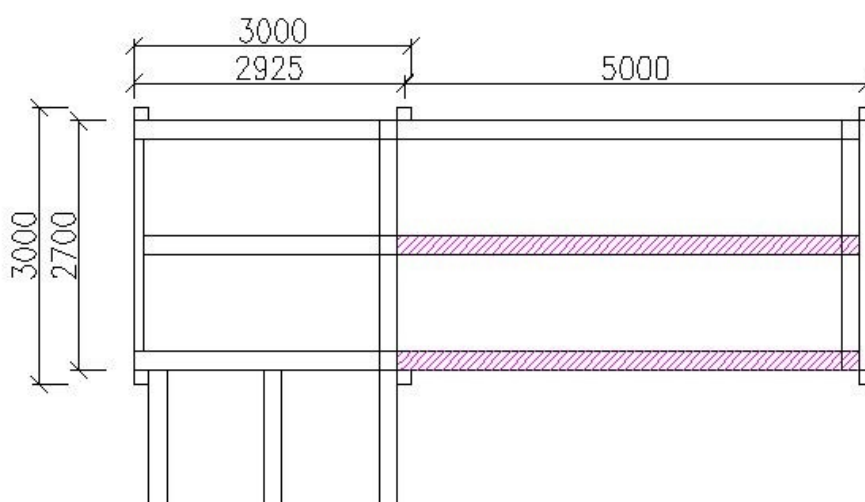
▪ Síla od prken na hradbách

$$F_1 = \rho \cdot h \cdot b \cdot L = 3,5 \cdot 0,03 \cdot 0,15 \cdot 1,35 = 0,021 \text{ kN}$$

Na  $L=2,5$  m bude cca17 prken výsledná síla pro 17 prken:

$$17 \cdot F_1 = 17 \cdot 0,021 = 0,361 \text{ kN}$$

▪ Síla od příčle 1 na hradbách



Obr. 30 – Příčle 1

$$F_2 = 2 \cdot (\rho \cdot h \cdot b \cdot L) = 2 \cdot (3,5 \cdot 0,15 \cdot 0,2 \cdot 2,5) = 0,525 \text{ kN}$$



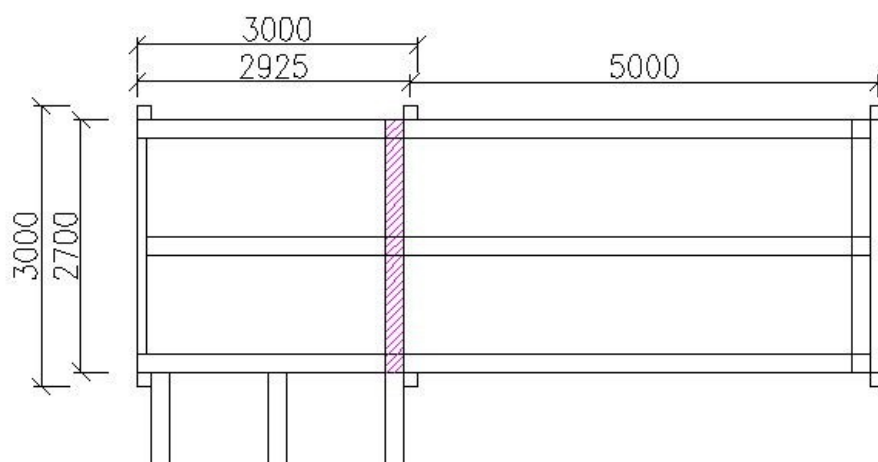
- Síla od prken z ¼ věže na které je 19 latí

$$F_1 = 19 \cdot \frac{\rho \cdot h \cdot b \cdot L}{4} = 19 \cdot \frac{3,5 \cdot 0,03 \cdot 0,15 \cdot 2,7}{4} = 0,101 \text{ kN}$$

- Síla od příčle z ¼ věže

$$F_2 = 2 \cdot (\rho \cdot h \cdot b \cdot L) = 2 \cdot (3,5 \cdot 0,15 \cdot 0,2 \cdot 1,425) = 0,299 \text{ kN}$$

- Síla od příčle 2 na hradbách



Obr. 31 – Příčle 2

$$F_3 = \rho \cdot h \cdot b \cdot L = 3,5 \cdot 0,15 \cdot 0,2 \cdot 1,15 = 0,121 \text{ kN}$$

Výsledná síla od podlahy

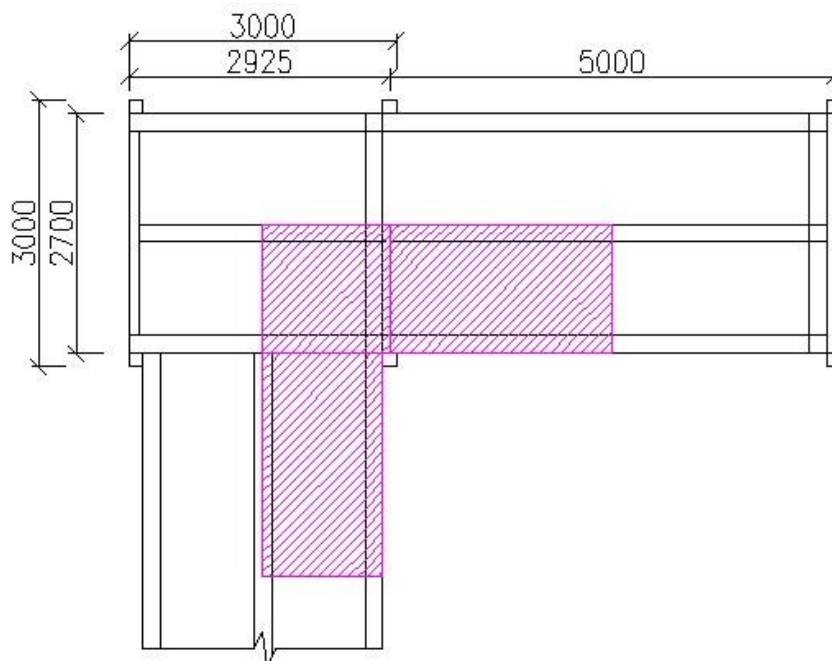
$$F_p = 2 \cdot (0,361 + 0,525 + 0,121) + (0,101 + 0,299) = 2,414 \text{ kN}$$

#### d) Rezerva

Ke stálému zatížení je připočítaná rezerva 1,5 kN.

#### Proměnné zatížení

Výpočet proměnného zatížení, které působí na jeden sloup je zobrazeno na obr 32.



Obr. 32 – Užitné zatížení

Proměnné zatížení z ¼ věže

Věž má půdorysné rozměry  $2,925 \times 2,7$  m. Užitné zatížení je dle literatury [1]  $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$ .

$$F_1 = \frac{2,925 \cdot 2,7 \cdot 5}{4} = 9,872 \text{ kN}$$

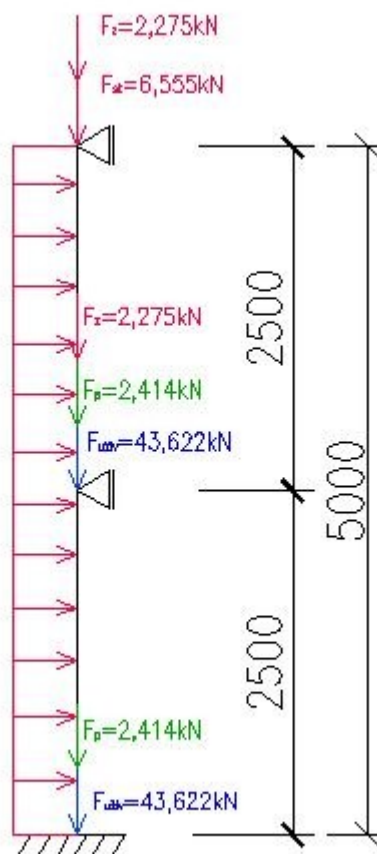
Proměnné zatížení z ¼ hradby

Nejdelší hradba má půdorysné rozměry  $2,7 \times 5$  m. Užitné zatížení je dle literatury [1]  $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$ . Jelikož se jedná o rohovou věž proto je výsledná hodnota vynásobena dvěma.

$$F_2 = 2 \cdot \frac{2,7 \cdot 5 \cdot 5}{4} = 33,75 \text{ kN}$$

Výsledná síla od proměnného zatížení

$$F_{uživ} = F_1 + F_2 = 9,619 + 33,75 = 43,622 \text{ kN}$$



Obr. 33 – Statické schéma sloupu

**Předběžný návrh rozměrů průřezu prvku:**

$$h = 150 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

**Průřezové charakteristiky prvku:**

$$A = h \cdot b = 0,15 \cdot 0,15 = 0,023 \text{ m}^2$$

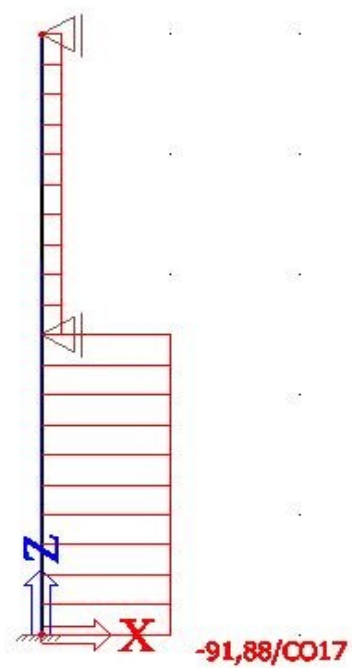
$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,15 \cdot 0,15^3 = 4,219 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,15 \cdot 0,15^2 = 5,63 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

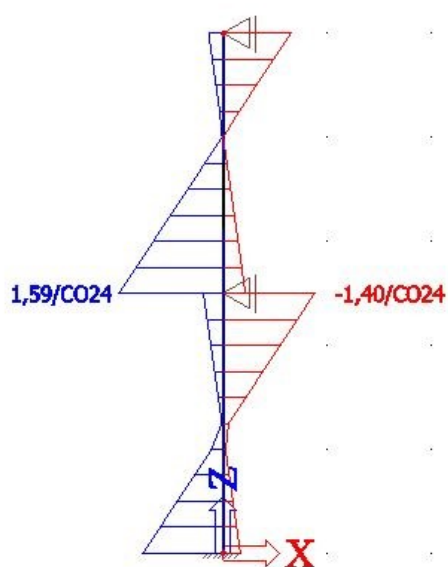
$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{4,219 \cdot 10^{-5}}{0,023}} = 0,043 \text{ m}$$

Výpočet byl proveden v programu Scia Engineer 2015. Byla vytvořena kombinace MSÚ – soubor B, kde byly použity čtyři zatěžovací stavy – zatížení stálé, proměnné zatížení

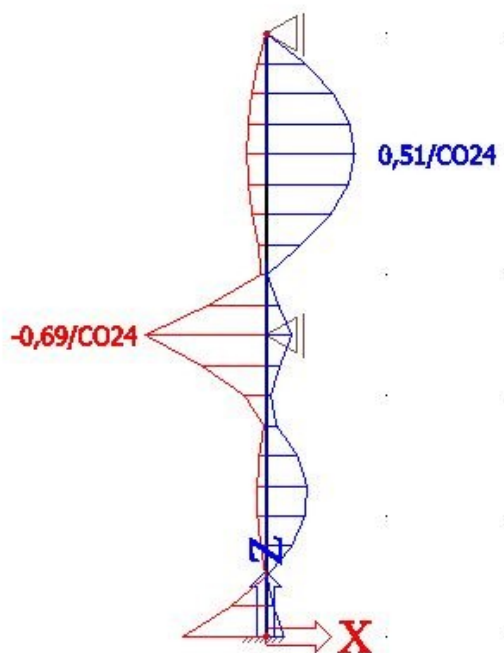
uživatel, a dva zatěžovací stavy od zatížení větrem ( byl vybrán největší tlak a největší sání).



Obr. 34 – Průběh normálových sil na sloupu



Obr. 35 – Průběh posouvajících sil na sloupu



Obr. 36 – Průběh ohybových momentů na sloupu

**Maximální normálová síla  $N_{Ed}$ :**

$$N_{Ed} = 91,88 \text{ kN}$$

**Maximální posouvající síla  $V_{Ed}$ :**

$$V_{Ed} = 1,59 \text{ kN}$$

**Maximální ohybový moment  $M_{Ed}$ :**

$$M_{Ed} = 0,69 \text{ kNm}$$

**Posouzení sloupu na kombinaci ohybu a tlaku a na vzpěr**

**Návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny, rostlé dřevo, třída provozu 3**

$$f_{c,0d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{21}{1,3} = 10,5 \text{ MPa} \quad (8.3.1)$$

**Návrhová pevnost v ohybu, rostlé dřevo, třída provozu 3**

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{24}{1,3} = 12 \text{ MPa}$$

**Návrhová pevnost ve smyku, rostlé dřevo, třída provozu 3**

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{2,5}{1,3} = 1,25 \text{ MPa}$$

**Normálové napětí v tlaku**

$$\sigma_{c,0d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{91,88 \cdot 10^3}{0,023} = 4,084 \text{ MPa} \quad (8.3.2)$$

**Normálové napětí za ohybu**

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{0,69 \cdot 10^3}{5,63 \cdot 10^{-4}} = 1,227 \text{ MPa}$$

**Poměrná štíhlost**

$$\lambda_y = \frac{L}{i_y} = \frac{2,5}{0,043} = 57,735 \quad (8.3.3)$$

$$\lambda_{y,rel} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0k}}{E_{0,05}}} = \frac{57,735}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21 \cdot 10^6}{7400 \cdot 10^6}} = 0,979 \quad (8.3.4)$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{y,rel} - 0,3) + \lambda_{y,rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (0,979 - 0,3) + 0,979^2] = 1,074 \quad (8.3.5)$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{y,rel}^2}} = \frac{1}{1,074 + \sqrt{1,074^2 - 0,979^2}} = 0,66 \quad (8.3.6)$$

**Posudek na kombinaci tlaku a ohybu:**

$$k_m = 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad (8.3.7)$$

$$\frac{4,084}{0,66 \cdot 10,5} + \frac{1,227}{12} \leq 1$$

$$0,590 + 0,102 \leq 1$$

$$0,692 \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{4,084}{0,66 \cdot 10,5} + 1 \cdot \frac{1,227}{12} \leq 1$$

$$0,590 + 0,102 \leq 1$$

$$0,692 \leq 1$$

Sloup vyhoví na kombinaci tlaku a ohybu

**Smykové napětí**

Účinná šířka průřezu

$$k_{cr} = 0,67$$

$$A_{eff} = k_{cr} \cdot b \cdot h = 0,67 \cdot 0,15 \cdot 0,15 = 0,015 \, m^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1,59 \cdot 10^3}{0,015} = 0,16 \, MPa$$

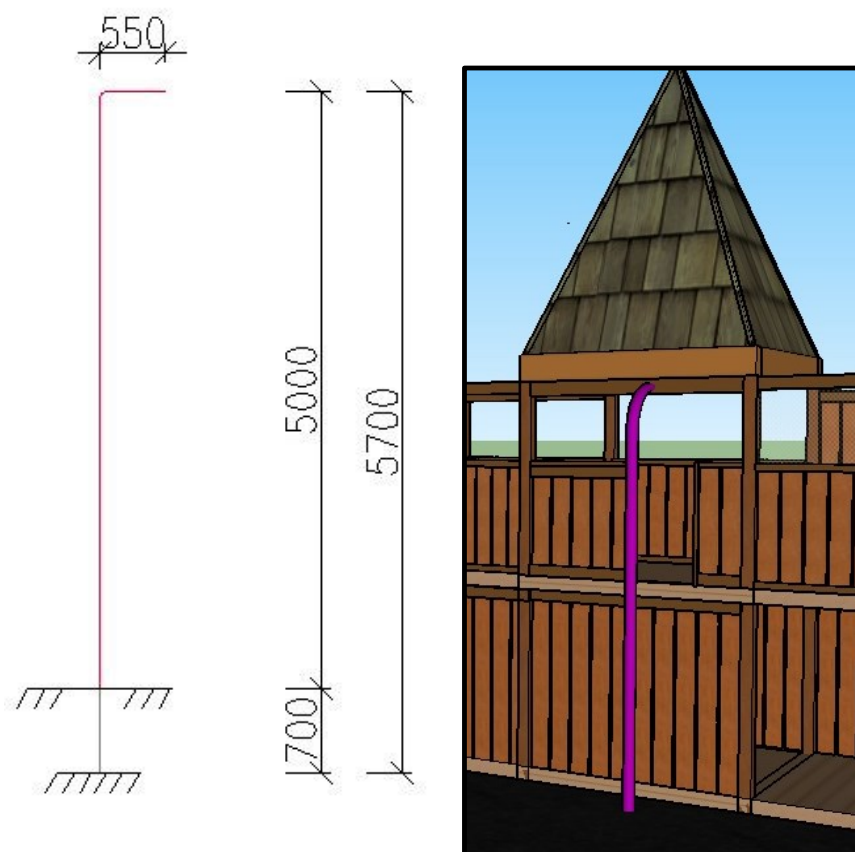
$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d} = 0,16 \leq 1,25$$

Sloup vyhoví na smyk

## 9. Výpočet nenosných prvků hradu

### 9.1. Požární tyč

Požární tyč je vyrobena z oceli třídy S235J0. Tato tyč je určena pouze pro děti. Tyč je zhotovena z trubkového profilu obr. 38 a je upevněna 700 mm pod hracím povrchem do betonového základu. Délka tyče po okraj hracího povrchu  $L = 5\text{ m}$ . Volný prostor okolo tyče od ostatních částí konstrukce musí být minimálně 350 mm. Statické schéma tyče je zobrazeno na obr 39.



Obr. 37 – Schéma a vizualizace požární tyče

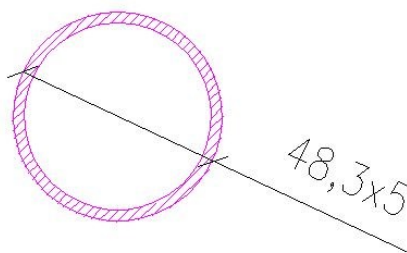
**Předběžný návrh rozměrů průřezu prvku:**

$$\phi 48,3 \times 5\text{ mm}$$

$$R = 48,3\text{ mm}$$

$$t = 5\text{ mm}$$





Obr. 38 – Průřez požární tyče

**Průřezové charakteristiky prvku:**

$$A = 6,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_y = 1,62 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$W_y = 6,69 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$i_y = 0,0154 \text{ m}$$

**Výpočet zatížení:****Maximální počet dětí na tyči:**

Maximální počet dětí je vztažen k vertikální délce tyče po okraj hracího povrchu. Jedná se o prvek, který má sklon větší než  $60^\circ$ , proto musí platit tento vztah:

$$n = \frac{L}{1,2} = \frac{5}{1,2} = 4,167 \cong 5 \text{ dětí}$$

**Výpočet váhy a celkové síly podle vztahů 5.1.8 a 5.1.10:**

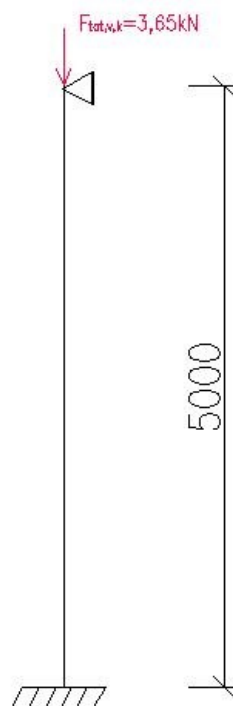
$$G_n = n \cdot m + 1,64 \cdot \sigma \cdot \sqrt{n} = 5 \cdot 53,8 + 1,64 \cdot 9,6 \cdot \sqrt{5} = 304,205 \text{ kg}$$

$$C_{dyn} = 1 + \frac{1}{n} = 1 + \frac{1}{5} = 1,2$$

$$F_{tot,vk} = g \cdot G_n \cdot C_{dyn} = 10 \cdot 304,205 \cdot 1,2 = 3650,456 \text{ N} = 3,65 \text{ kN}$$

$$F_{tot,vd} = 3,65 \cdot \gamma_Q = 3,65 \cdot 1,35 = 4,9275 \text{ kN}$$

Může se předpokládat, že tato síla je návrhová normálová síla  $N_{ed}$  pro posudek trubky. Nesmí být překročena únosnost ve vzpěrném tlaku.



Obr. 39 – Statické schéma požární tyče

**Výpočet součinitele vzpěrnosti:**

Vzpěrná délka  $L_{cr}$  je rovna 0,7 násobku skutečné délky požární tyče. Je počítáno s křivkou vzpěrnosti  $\alpha=0,21$ .

$$L_{cr} = 0,7 \cdot L = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ m} \quad (9.1.1)$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \frac{L_{cr}}{i_y} = \frac{3,5}{0,0154} = 227,273 \quad (9.1.2)$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1 \quad (9.1.3)$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1 = 93,9 \quad (9.1.4)$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{227,273}{93,9} = 2,42 \quad (9.1.5)$$

$$\begin{aligned} \phi &= 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_{rel} - 0,2) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,42 - 0,2) + 2,42^2] \\ &= 3,662 \end{aligned} \quad (9.1.6)$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{3,662 + \sqrt{3,662^2 - 2,42^2}} = 0,156 \quad (9.1.7)$$

Posudek vzpěrné únosnosti:

$$N_{Ed} \leq N_{b.Rd} \quad (9.1.8)$$

$$N_{Ed} \leq \frac{\chi \cdot f_y \cdot A}{\gamma_{M1}} \quad (9.1.9)$$

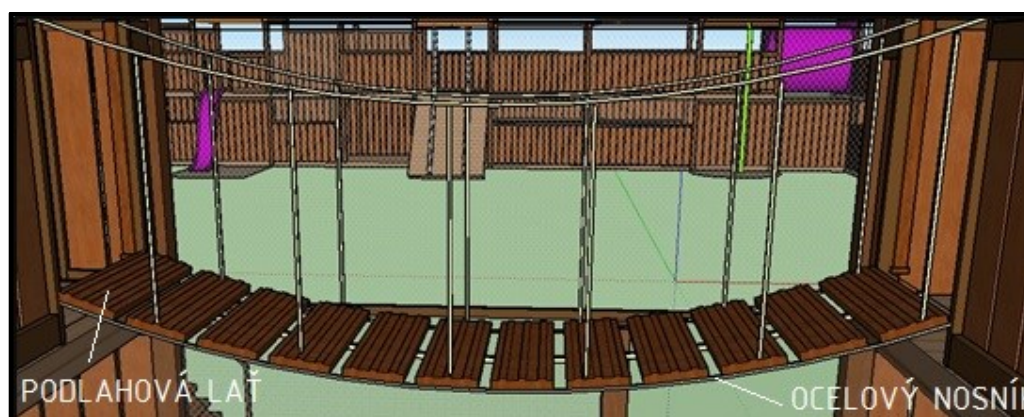
$$N_{Ed} \leq \frac{0,156 \cdot 235 \cdot 10^6 \cdot 6,8 \cdot 10^{-4}}{1} = 24,927 \text{ kN}$$

$$4,298 \leq 24,927$$

Vyhovuje na vzpěrný tlak.

## 9.2. Spojovací mostek

Hlavním nosným prvkem mostku jsou ocelové nosníky, které podpírají podlahové latě mostku. Podlahové latě jsou dřevěné třídy C24, a nosníky jsou z ocelové typu RHS 50 × 30 × 3,2 mm viz. Obr. 45 z oceli S235J0. Okolo mostku je z bezpečnostních důvodů umístěna síť. Mostek je určen pouze pro děti.



Obr. 40 – Vizualizace spojení mostku



Obr. 41 – Vizualizace spojovacího mostku

**Rozměry mostku:**

šířka = 1 m

délka = 3,6 m

**Výpočet zatížení:****Maximální počet dětí na celé ploše mostku:**

Maximální počet dětí je vztažen k ploše mostku. Jedná se o prvek, který má sklon menší než 60°, proto musí platit tento vztah:

$$n = \frac{A}{0,36} = \frac{3,6 \cdot 1}{0,36} = 10 \text{ dětí}$$

**Výpočet váhy, celkové síly a plošného zatížení uživateli podle vztahů 5.1.8, 5.1.10 a 5.1.14 :**

$$G_n = n \cdot m + 1,64 \cdot \sigma \cdot \sqrt{n} = 10 \cdot 53,8 + 1,64 \cdot 9,6 \cdot \sqrt{10} = 587,787 \text{ kg}$$

$$C_{dyn} = 1 + \frac{1}{n} = 1 + \frac{1}{10} = 1,1$$

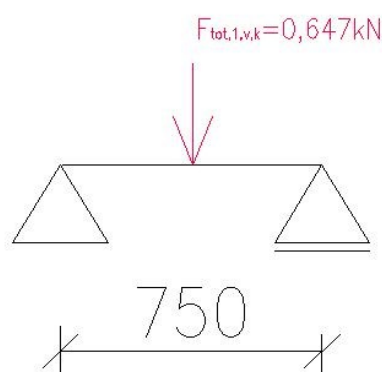
$$F_{tot,vk} = g \cdot G_n \cdot C_{dyn} = 10 \cdot 587,787 \cdot 1,1 = 6465,656 \text{ N} = 6,466 \text{ kN}$$

$$F_{tot,1vk} = \frac{F_{tot,vk}}{n} = \frac{6,466}{10} = 0,6466 \text{ kN}$$

$$q_k = \frac{F_{tot,vk}}{A} = \frac{6,466}{3,6} = 1,796 \text{ kN/m}^2$$

### 9.2.1. Podlahový nosník mostku

Největší ohybový moment nastane od 1 uživatele uprostřed rozpětí nosníku. Statické schéma podlahového nosníku je zobrazen na obr 42. Délka nosníku je  $L=0,75 \text{ m}$ .



Obr. 42 – Statické schéma podlahového nosníku

#### Předběžný návrh rozměrů průřezu prvku:

$$h = 50 \text{ mm}$$

$$b = 280 \text{ mm}$$

#### Průřezové charakteristiky prvku:

$$A = h \cdot b = 0,05 \cdot 0,28 = 0,0145 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,28 \cdot 0,05^3 = 2,917 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

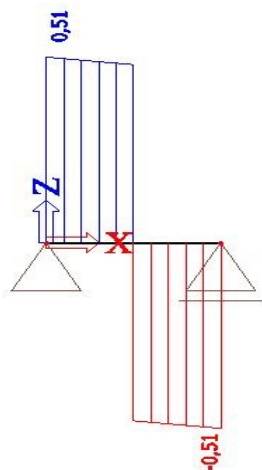
$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,28 \cdot 0,05^2 = 1,167 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2,917 \cdot 10^{-6}}{0,0145}} = 0,014 \text{ m}$$

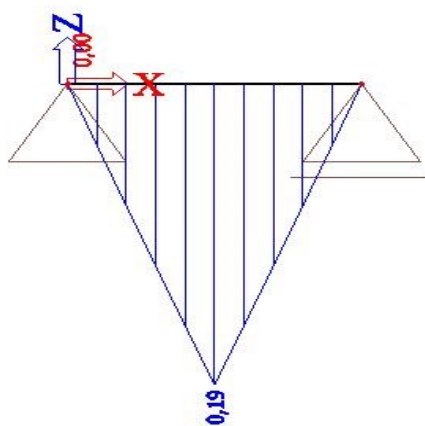
**Vlastní tíha prvku:**

$$g_k = h \cdot b \cdot \rho = 0,05 \cdot 0,28 \cdot 3,5 = 0,049 \text{ kN/m}$$

Výpočet byl proveden v programu Scia Engineer 2015. Byla vytvořena kombinace MSÚ – soubor B, kde byly použity dva zatěžovací stavy – vlastní tíha a síla od zatížení uživatelem.



Obr. 43 – Průběh posouvajících sil na nosníku



Obr. 44 – Průběh ohybových momentů na nosníku

**Maximální posouvající síla  $V_{Ed}$ :**

$$V_{Ed} = 0,51 \text{ kN}$$

**Maximální ohybový moment  $M_{Ed}$ :**

$$M_{Ed} = 0,19 \text{ kNm}$$

**Posouzení latě na ohyb a smyk**

**Návrhová pevnost v ohybu, rostlé dřevo, třída provozu 3**

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{24}{1,3} = 12 \text{ MPa}$$

**Návrhová pevnost ve smyku, rostlé dřevo, třída provozu 3**

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{2,5}{1,3} = 1,25 \text{ MPa}$$

**Normálové napětí za ohybu**

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{0,19 \cdot 10^3}{1,167 \cdot 10^{-4}} = 1,629 \text{ MPa}$$

- Nosník je po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$$

$$1,629 \leq 12$$

Nosník na ohyb vyhovuje

- Nosník není po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě

Kritické napětí za ohybu

$$L_{ef} = 0,8 \cdot L = 0,8 \cdot 0,75 = 0,6 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{h \cdot L_{ef}} = \frac{0,78 \cdot 0,28^2 \cdot 7400 \cdot 10^6}{0,05 \cdot 0,6} = 15\,084,16 \text{ Mpa}$$

Poměrná štíhlost

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{15084,16 \cdot 10^6}} = 0,04$$

Součinitel příčné a torzní stability

$$k_{crit} = 1$$

Normálové napětí za ohybu

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}$$

$$1,629 \leq 1 \cdot 12$$

Nosník na ohyb vyhovuje

**Smykové napětí**Účinná šířka průřezu

$$k_{cr} = 0,67$$

$$A_{eff} = k_{cr} \cdot b \cdot h = 0,67 \cdot 0,28 \cdot 0,05 = 0,009 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,51 \cdot 10^3}{0,009} = 0,08 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d} = 0,08 \leq 1,25$$

Nosník na smyk vyhovuje

**9.2.2. Ocelový nosník**

Ocelový nosník je tvořený obdélníkovým profilem viz. Obr. 45 z oceli S235J0. Je počítáno s křivkou vzpěrnosti  $\alpha=0,21$ . Statické schéma nosníku je zobrazeno na obr. 46. Délka nosník  $L=3,6 \text{ m}$ .

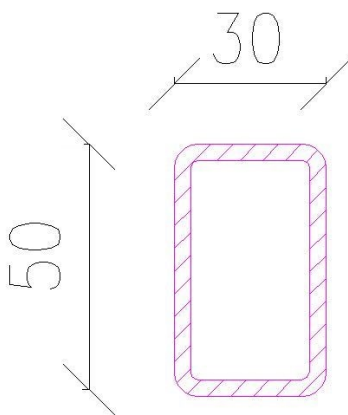
**Předběžný návrh rozměrů průřezu prvku:**

$$RHS 50 \times 30 \times 3,2 \text{ mm}$$

$$h = 50 \text{ mm}$$

$$b = 30 \text{ mm}$$

$$t = 3,2 \text{ mm}$$



Obr. 45 – Průřez vodorovného nosníku



**Průřezové charakteristiky prvku:**

$$A = 4,6 \cdot 10^{-4} m^2$$

$$I_y = 1,42 \cdot 10^{-7} m^4$$

$$W_y = 5,68 \cdot 10^{-6} m^3$$

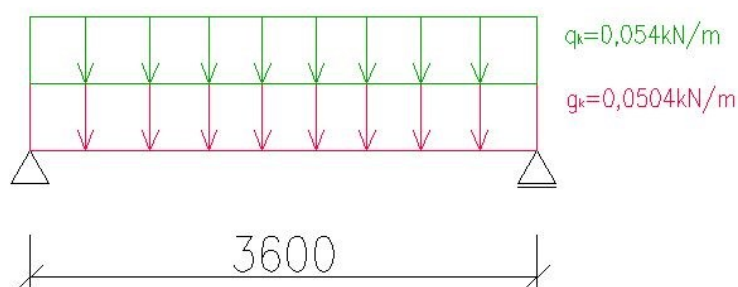
$$W_{y,pl} = 7,25 \cdot 10^{-6} m^3$$

$$i_y = 0,0176 m$$

**Proměnné zatížení:**

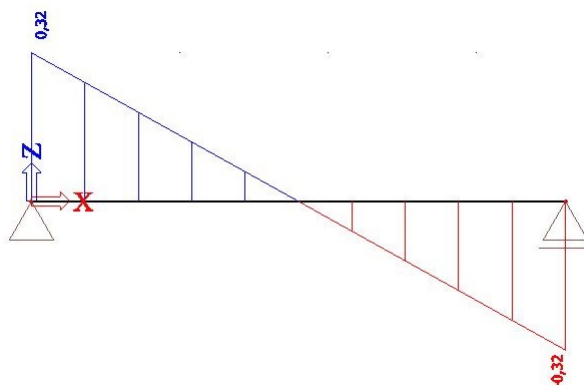
Na nosník působí zatížení proměnné zatížení od uživatelů, které je rovno:

$$q_{k,uživ} = q_k \cdot b = 1,796 \cdot 0,03 = 0,054 kN/m$$

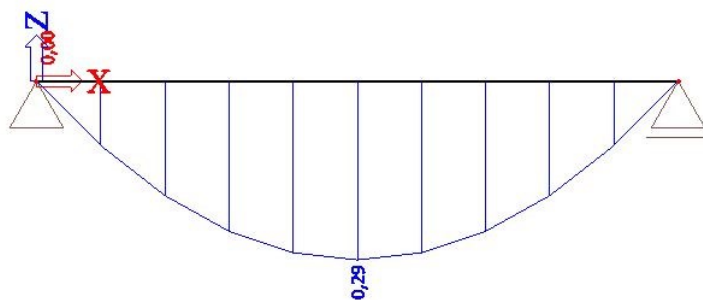


Obr. 46 – Statické schéma vodorovného nosníku

Výpočet byl proveden v programu Scia Engineer 2015. Byla vytvořena kombinace MSÚ – soubor B, kde byly použity tři zatěžovací stavy – vlastní tíha, rovnoměrné spojitě zatížení od latí a proměnné spojitě zatížení uživatelem.



Obr. 47 – Průběh posouvajících sil na nosníku



Obr. 48 – Průběh ohybových momentů na nosníku

**Maximální posouvající síla  $V_{Ed}$ :**

$$V_{Ed} = 0,32 \text{ kN}$$

**Maximální ohybový moment  $M_{Ed}$ :**

$$M_{Ed} = 0,29 \text{ kNm}$$

**Zatřídění průřezu:**

$$\frac{h}{t_w} = \frac{50}{3,2} = 15,626 \Rightarrow 1. \text{ třída} \quad (9.2.2.1)$$

$$\frac{b}{t_f} = \frac{30}{3,2} = 9,375 \Rightarrow 1. \text{ třída} \quad (9.2.2.2)$$

**Posudek na ohyb:**

$$M_{Ed} \leq M_{pl,Rd} \quad (9.2.2.3)$$

$$M_{Ed} \leq \frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (9.2.2.4)$$

$$M_{Ed} \leq \frac{7,25 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^6}{1} = 1,703 \text{ kNm}$$

$$0,29 \leq 1,703$$

Průřez vyhovuje na ohyb.

**Posudek na smyk:**

$$A_v = 2 \cdot (0,0436 \cdot 0,0032) = 2,79 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (9.2.2.5)$$

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd} \quad (9.2.2.6)$$

$$V_{Ed} \leq \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} \quad (9.2.2.7)$$

$$N_{Ed} \leq \frac{2,79 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1 \cdot \sqrt{3}} = 37,859 \text{ kN}$$

$$0,32 \leq 37,859$$

Průřez vyhovuje na smyk.

### 9.3. Rampa

#### 9.3.1. Trám zatížený lanem

Jedná se o dřevěný nosník, na který působí 2 síly. Délka nosníku  $L=2,7 \text{ m}$ . Zatížení představuje uchycení lana, které je počítáno dle literatury [2]. Statické schéma nosníku je zobrazeno na obr. 52 – 54.

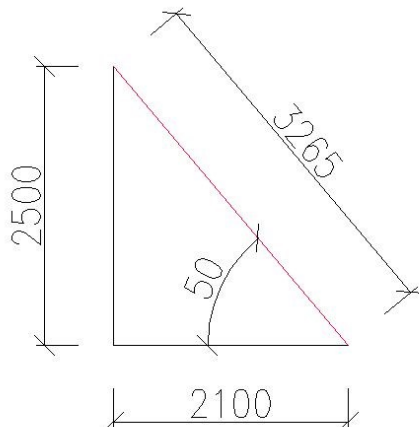


Obr. 49 – Vizualizace rampy s lany

Rampa je určena pouze pro děti, proto je nutné vypočítat maximální počet dětí, které se teoreticky mohou vejít na šikmou rampu a tím pádem se také držet lana. Je uvažováno, že jedno dítě bude zatěžovat lano celou svou vahou.

**Výpočet zatížení:**

Délka průmětu  $L_{pr}$  je vztažena k půdorysnému rozměru rampy. Rozměry rampy jsou zobrazeny na obr 50.



Obr. 50 – Sklon rampy

**Maximální počet dětí na rampě:**

Maximální počet dětí je vztažen k průmětu plochy. Jedná se o prvek, který má sklon menší než  $60^\circ$ , proto musí platit tento vztah:

$$n = \frac{L_{pr}}{0,6} = \frac{2,1}{0,6} = 3,5 \cong 4 \text{ děti}$$

**Výpočet váhy a celkové síly zatížení uživateli podle vztahů 5.1.8, 5.1.10 a 5.1.14:**

$$G_n = n \cdot m + 1,64 \cdot \sigma \cdot \sqrt{n} = 4 \cdot 53,8 + 1,64 \cdot 9,6 \cdot \sqrt{4} = 246,688 \text{ kg}$$

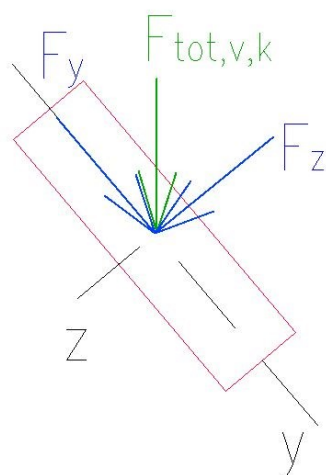
$$C_{dyn} = 1 + \frac{1}{n} = 1 + \frac{1}{4} = 1,25$$

$$F_{tot,vk} = g \cdot G_n \cdot C_{dyn} = 10 \cdot 246,688 \cdot 1,25 = 3083,6 \text{ N} = 3,083 \text{ kN}$$

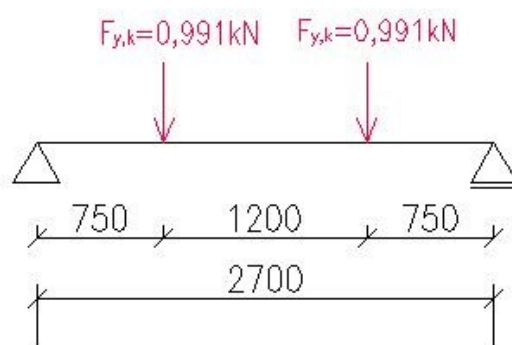
Na nosník působí dvě lana, proto je uvažováno, že polovina dětí působí na každé lano.

$$F_{tot,1vk} = \frac{F_{tot,vk}}{n/2} = \frac{3,083}{4/2} = 1,542 \text{ kN}$$

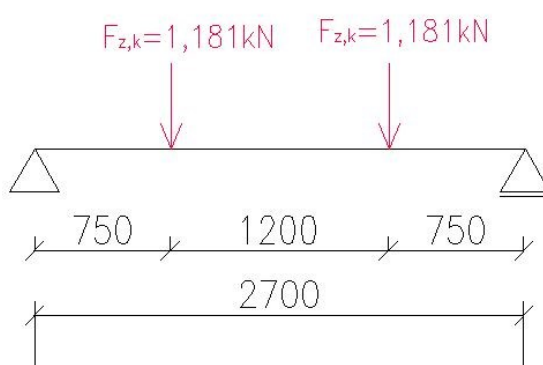
Předpokládá se, že lana působí ve stejném sklonu jako rampa. Proto se prvek musí posoudit na dvouosý ohyb. Rozložení sil v průřezu prvku je zobrazeno na obr. 51.



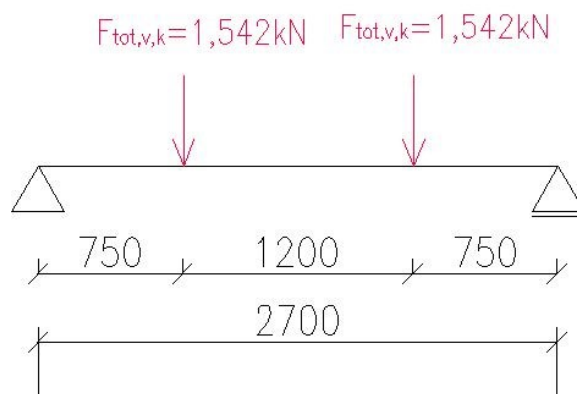
Obr. 51 – Rozložení sil



Obr. 52 – Statické schéma  $F_y$



Obr. 53 – Statické schéma  $F_z$

Obr. 54 – Statické schéma  $F_{tot,v}$ **Rozložení síly na složky  $F_y$  a  $F_z$ :**

$$\alpha = 50^\circ$$

$$F_y = F_{tot,1vk} \cdot \cos(\alpha) = 1,542 \cdot \cos(50^\circ) = 0,991 \text{ kN}$$

$$F_z = F_{tot,1vk} \cdot \sin(\alpha) = 1,542 \cdot \sin(50^\circ) = 1,181 \text{ kN}$$

**Předběžný návrh rozměrů průřezu prvku:**

$$h = 120 \text{ mm}$$

$$b = 120 \text{ mm}$$

**Průřezové charakteristiky prvku:**

$$A = h \cdot b = 0,12 \cdot 0,12 = 0,0144 \text{ m}^2$$

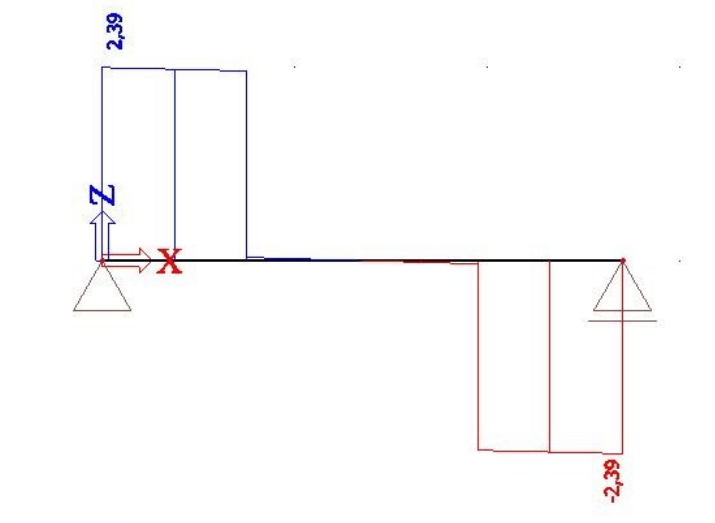
$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,12 \cdot 0,12^2 = 2,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

**Vlastní tíha prvku:**

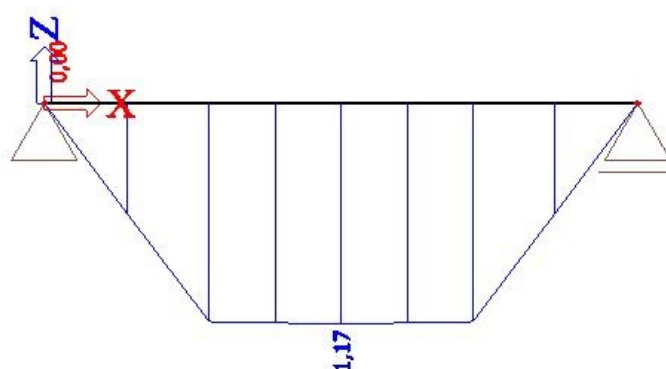
$$g_k = h \cdot b \cdot \rho = 0,12 \cdot 0,12 \cdot 3,5 = 0,05 \text{ kN/m}$$

Výpočet byl proveden v programu Scia Engineer 2015. Byla vytvořena kombinace MSÚ – soubor B, kde byly použity dva zatěžovací stavy – vlastní tíha a síla od zatížení uživateli.

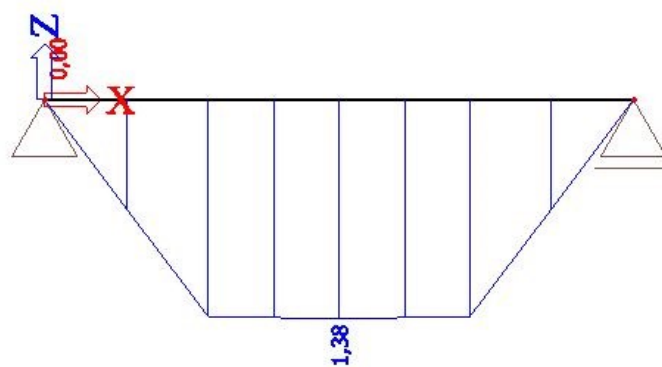
Byly vytvořeny 3 modely, pro lokální směr osy „y“ a pro směr osy „z“ prvku a také pro svislé zatížení.



Obr. 55 – Průběh posouvajících sil –  $F_{tot,v}$



Obr. 56 – Průběh ohybových momentů na nosníku -  $F_y$



Obr. 57 – Průběh ohybových momentů na nosníku -  $F_z$

**Maximální posouvající síla  $V_{Ed}$ :**

$$V_{Ed} = 2,39 \text{ kN}$$

**Maximální ohybový moment k ose „y“  $M_{Ed,y}$ :**

$$M_{Ed,y} = 1,17 \text{ kNm}$$

**Maximální ohybový moment k ose „z“  $M_{Ed,z}$ :**

$$M_{Ed,z} = 1,38 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost v ohybu, rostlé dřevo, třída provozu 3**

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{24}{1,3} = 12 \text{ MPa}$$

**Návrhová pevnost ve smyku, rostlé dřevo, třída provozu 3**

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{2,5}{1,3} = 1,25 \text{ MPa}$$

**Maximální normálové napětí  $\sigma_{m,d,y}$  za ohybu:**

$$\sigma_{m,d,y} = \frac{M_{Ed,y}}{W_y} = \frac{1170}{2,88 \cdot 10^{-4}} = 4,063 \text{ MPa}$$

**Maximální normálové napětí  $\sigma_{m,d,z}$  za ohybu:**

$$\sigma_{m,d,z} = \frac{M_{Ed,z}}{W_z} = \frac{1380}{2,88 \cdot 10^{-4}} = 4,792 \text{ MPa}$$

**Posudek prvku na dvouosý ohyb:**

$$\frac{\sigma_{m,d,y}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,d,y}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad 0$$

$$\frac{4,063}{12} + \frac{4,792}{12} \leq 1$$

$$0,738 \leq 1$$

Prvek vyhovuje na dvouosý ohyb.

**Smykové napětí**

Účinná šířka průřezu

$$k_{cr} = 0,67$$



$$A_{eff} = k_{cr} \cdot b \cdot h = 0,67 \cdot 0,14 \cdot 0,14 = 0,0096 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{2390}{0,0096} = 0,372 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d} = 0,372 \leq 1,25$$

Nosník na smyk vyhovuje.

Jelikož je prvek větší než dovolené rozměry pro úchop dle literatury [1], je nutno připevnit na nosník z vnitřní a vnější strany ocelová madla, jejichž průměr je 34 mm.

### 9.3.2. Návrh fošen na rampě

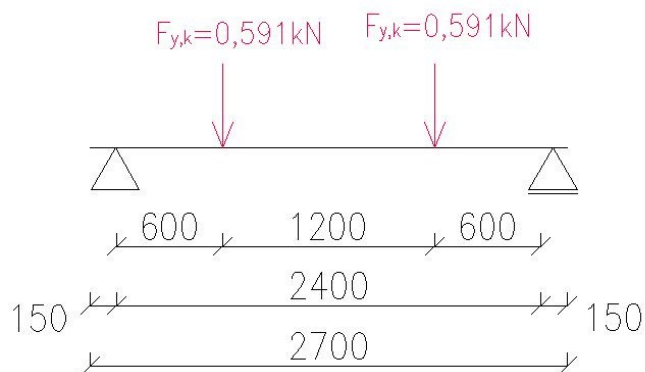
Fošny jsou posuzovány na dvouosý ohyb. Fošny jsou uchyceny na šikmé podpůrné nosníky. Schéma fošen je uvažován jako nosník s převislými konci, je zatížen dvěma silami od dětí, které se drží lana. Statické schéma je zobrazeno na obr. 58 -60.

#### Výpočet zatížení:

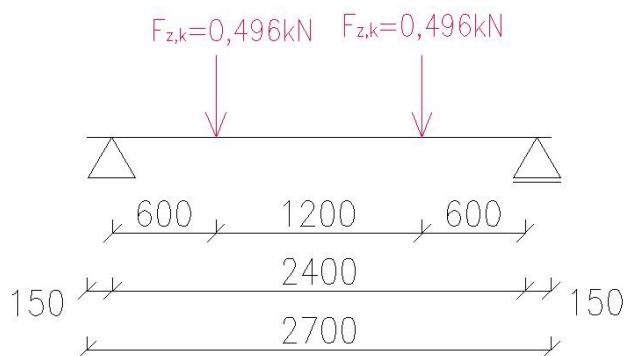
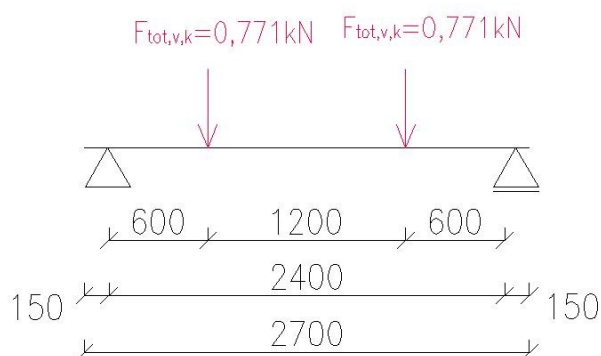
Výpočet proměnné zatížení od dětí bude stejný jako v předchozím případě, pouze na fošnu budou působit dvě síly o velikosti:

$$F_{tot,1v,k} = \frac{F_{tot,vk}}{n} = \frac{3,083}{4} = 0,771 \text{ kN}$$

Tato síla se rozloží do pomocí goniometrických vztahů do složek  $F_y$  a  $F_z$ .



Obr. 58 - Statické schéma  $F_y$

Obr. 59 - Statické schéma  $F_z$ Obr. 60 - Statické schéma  $F_{tot,v}$ 

**Rozložení síly  $F_{tot,v,k}$  na složky  $F_y$  a  $F_z$ :**

$$\alpha = 50^\circ$$

$$F_y = F_{tot,v,k} \cdot \sin(\alpha) = 0,771 \cdot \cos(50^\circ) = 0,591 \text{ kN}$$

$$F_z = F_{tot,v,k} \cdot \cos(\alpha) = 0,771 \cdot \sin(50^\circ) = 0,496 \text{ kN}$$

**Předběžný návrh rozměrů průřezu prvku:**

$$h = 50 \text{ mm}$$

$$b = 180 \text{ mm}$$

**Průřezové charakteristiky prvku:**

$$A = h \cdot b = 0,05 \cdot 0,18 = 0,009 \text{ m}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,18 \cdot 0,05^2 = 7,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

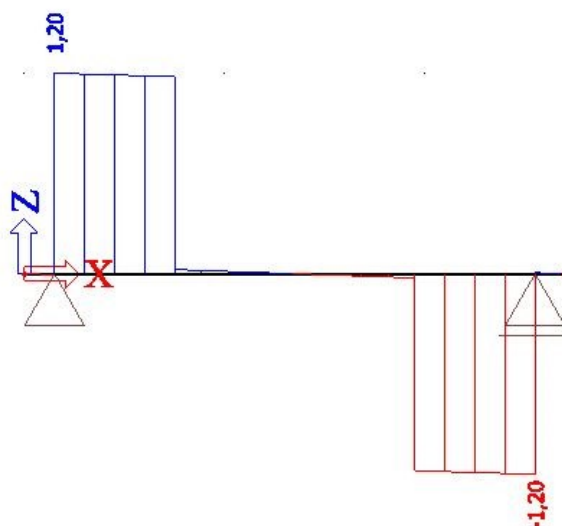
$$W_z = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,05 \cdot 0,18^2 = 2,7 \cdot 10^{-4} m^3$$

**Vlastní tíha prvku:**

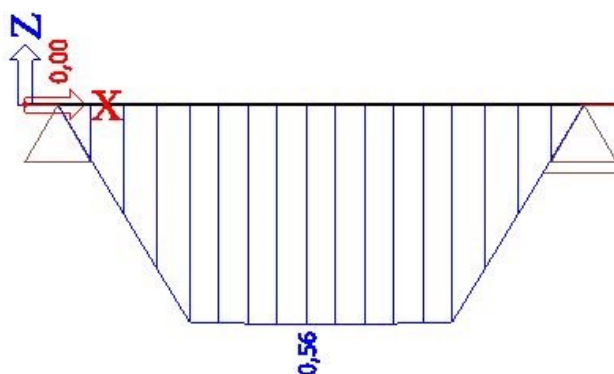
$$g_k = h \cdot b \cdot \rho = 0,05 \cdot 0,18 \cdot 3,5 = 0,032 \text{ kN/m}$$

Výpočet byl proveden v programu Scia Engineer 2015. Byla vytvořena kombinace MSÚ – soubor B, kde byly použity dva zatěžovací stavy – vlastní tíha a síla od zatížení uživateli.

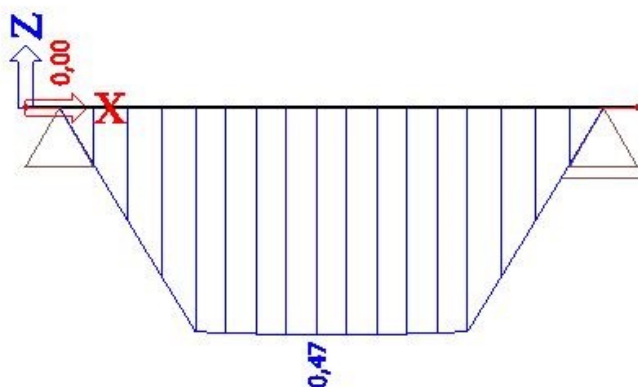
Byly vytvořeny 3 modely, pro lokální směr osy „y“ a pro směr osy „z“ prvku a také pro svislé zatížení.



Obr. 61 - Průběh posouvajících sil –  $F_{tot,v}$



Obr. 62 – Průběh ohybových momentů na nosníku -  $F_y$

Obr. 63 – Průběh ohybových momentů na nosníku –  $F_z$ 

**Maximální posouvající síla  $V_{Ed}$ :**

$$V_{Ed} = 1,2 \text{ kN}$$

**Maximální ohybový moment k ose „y“  $M_{Ed,y}$ :**

$$M_{Ed,y} = 0,56 \text{ kNm}$$

**Maximální ohybový moment k ose „z“  $M_{Ed,z}$ :**

$$M_{Ed,z} = 0,47 \text{ kNm}$$

**Návrhová pevnost v ohybu, rostlé dřevo, třída provozu 3**

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{24}{1,3} = 12 \text{ MPa}$$

**Návrhová pevnost ve smyku, rostlé dřevo, třída provozu 3**

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{2,5}{1,3} = 1,25 \text{ MPa}$$

**Maximální normálové napětí  $\sigma_{m,d,y}$  za ohybu:**

$$\sigma_{m,d,y} = \frac{M_{Ed,y}}{W_y} = \frac{560}{7,5 \cdot 10^{-5}} = 7,467 \text{ MPa}$$

**Maximální normálové napětí  $\sigma_{m,d,z}$  za ohybu:**

$$\sigma_{m,d,z} = \frac{M_{Ed,z}}{W_z} = \frac{470}{2,7 \cdot 10^{-4}} = 1,741 \text{ MPa}$$

**Posudek prvku na dvouosý ohyb:**

$$\frac{\sigma_{m,d,y}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,d,y}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{7,467}{12} + \frac{1,741}{12} \leq 1$$

$$0,767 \leq 1$$

Prvek vyhovuje na dvouosý ohyb.

**Smykové napětí**Účinná šířka průřezu

$$k_{cr} = 0,67$$

$$A_{eff} = k_{cr} \cdot b \cdot h = 0,67 \cdot 0,18 \cdot 0,05 = 0,006 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1200}{0,006} = 0,299 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d} = 0,299 \leq 1,25$$

Nosník na smyk vyhovuje.

**9.3.3. Šikmý nosník**

Šikmé nosníky podírají rampu po stranách fošen. Zatížení dětmi na nosník bylo počítáno jako liniové. Maximální počet dětí je vztažen k půdorysnému průmětu délky rampy. Toto zatížení se opět rozdělí na dvě složky – složku kolmou a rovnoběžnou s nosníkem. Statické schéma šikmého nosníku je zobrazeno na obr. 64. Délka  $L=3,265 \text{ m}$ .

**Výpočet zatížení:**

Maximální počet dětí je vztažen k průmětu délky nosníku. Jedná se o prvek, který má sklon menší než  $60^\circ$ , proto musí platit tento vztah:

$$n = \frac{L_{pr}}{0,6} = \frac{2,1}{0,6} = 3,5 \cong 4 \text{ děti}$$

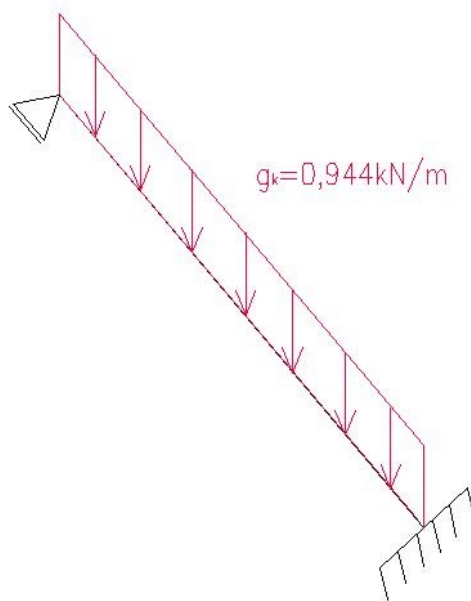
**Výpočet váhy a spojitého zatížení uživateli podle vztahů 5.1.8 a 5.1.10:**

$$G_n = n \cdot m + 1,64 \cdot \sigma \cdot \sqrt{n} = 4 \cdot 53,8 + 1,64 \cdot 9,6 \cdot \sqrt{4} = 246,688 \text{ kg}$$

$$C_{dyn} = 1 + \frac{1}{n} = 1 + \frac{1}{4} = 1,25$$

$$F_{tot,vk} = g \cdot G_n \cdot C_{dyn} = 10 \cdot 246,688 \cdot 1,25 = 3083,6 \text{ N} = 3,083 \text{ kN}$$

$$q_k = \frac{F_{tot,vk}}{L} = \frac{3,083}{3,265} = 0,944 \text{ kN/m}$$



Obr. 64 – Statické schéma šikmého nosníku

**Předběžný návrh rozměrů průřezu prvku:**

$$h = 65 \text{ mm}$$

$$b = 180 \text{ mm}$$

**Průřezové charakteristiky prvku:**

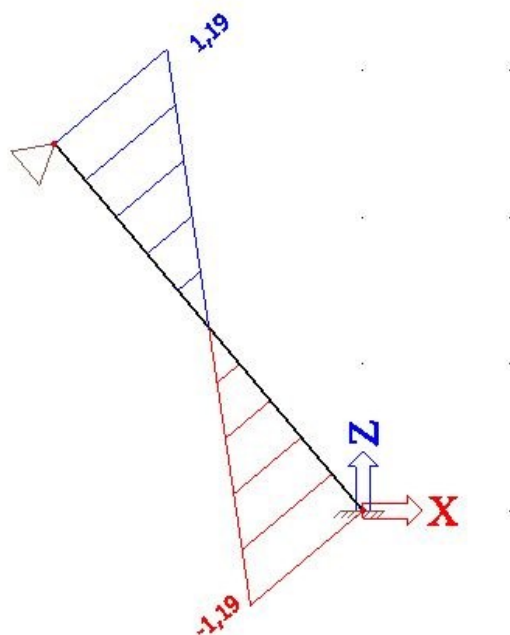
$$A = h \cdot b = 0,065 \cdot 0,18 = 0,0117 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,18 \cdot 0,065^3 = 4,119 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

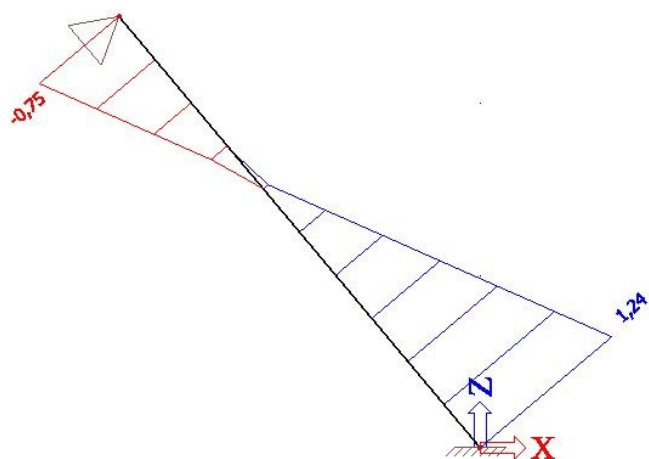
$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,18 \cdot 0,065^2 = 1,27 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{4,119 \cdot 10^{-6}}{0,0117}} = 0,019 \text{ m}$$

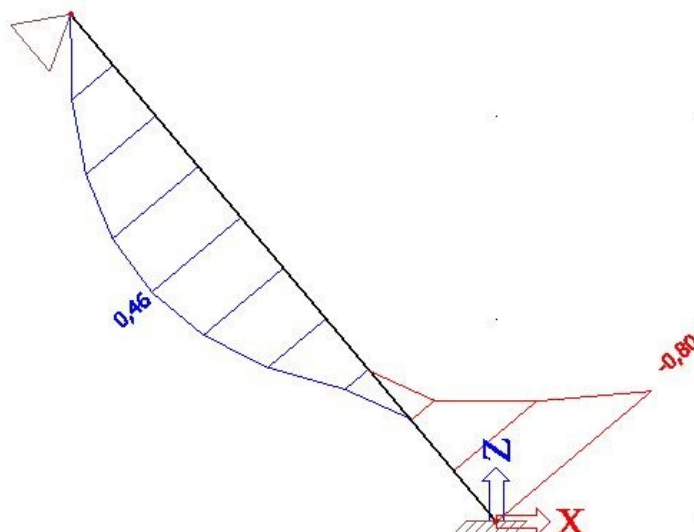
Výpočet byl proveden v programu Scia Engineer 2015. Byla vytvořena kombinace MSÚ – soubor B, kde byly použity dva zatěžovací stavy – vlastní tíha a proměnné zatížení uživateli.



Obr. 65 – Průběh normálových sil na šikmý nosník



Obr. 66 – Průběh posouvajících sil na šikmý nosník



Obr. 67 – Průběh ohybových momentů na šikmý nosník

**Maximální normálová síla  $N_{Ed}$ :**

$$N_{Ed} = 1,19 \text{ kN}$$

**Maximální posouvající síla  $V_{Ed}$ :**

$$V_{Ed} = 1,24 \text{ kN}$$

**Maximální ohybový moment  $M_{Ed}$ :**

$$M_{Ed} = 0,8 \text{ kNm}$$

**Posouzení sloupu na kombinaci ohybu a tlaku a na vzpěr****Návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny, rostlé dřevo, třída provozu 3**

$$f_{c,0d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{21}{1,3} = 10,5 \text{ MPa}$$

**Návrhová pevnost v ohybu, rostlé dřevo, třída provozu 3**

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{24}{1,3} = 12 \text{ MPa}$$

**Návrhová pevnost ve smyku, rostlé dřevo, třída provozu 3**

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{2,5}{1,3} = 1,25 \text{ MPa}$$



**Normálové napětí v tlaku**

$$\sigma_{c,0d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{1,19 \cdot 10^3}{0,0117} = 0,102 \text{ MPa}$$

**Normálové napětí za ohybu**

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{0,8 \cdot 10^3}{1,27 \cdot 10^{-4}} = 6,312 \text{ MPa}$$

**Poměrná štíhlost**

$$L_{cr} = 0,7 \cdot L = 0,7 \cdot 3,265 = 2,286 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i_y} = \frac{2,286}{0,019} = 121,803$$

$$\lambda_{y,rel} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0k}}{E_{0,05}}} = \frac{121,803}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21 \cdot 10^6}{7400 \cdot 10^6}} = 2,065$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{y,rel} - 0,3) + \lambda_{y,rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,2 \cdot (2,065 - 0,3) + 2,065^2] = 2,836$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{y,rel}^2}} = \frac{1}{2,836 + \sqrt{2,836^2 - 2,065^2}} = 0,209$$

**Posudek na kombinaci tlaku a ohybu:**

$$k_m = 0,7$$

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,102}{0,209 \cdot 10,5} + \frac{6,312}{12} \leq 1$$

$$0,046 + 0,526 \leq 1$$

$$0,572 \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,102}{0,209 \cdot 10,5} + 0,7 \cdot \frac{6,312}{12} \leq 1$$

$$0,046 + 0,368 \leq 1$$

$$0,414 \leq 1$$

Průřez vyhoví na kombinaci tlaku a ohybu

### **Smykové napětí**

#### Účinná šířka průřezu

$$k_{cr} = 0,67$$

$$A_{eff} = k_{cr} \cdot b \cdot h = 0,67 \cdot 0,18 \cdot 0,055 = 0,007 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1,24 \cdot 10^3}{0,007} = 0,28 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d} = 0,28 \leq 1,25$$

Průřez vyhoví na smyk

## **9.4. Schodiště**

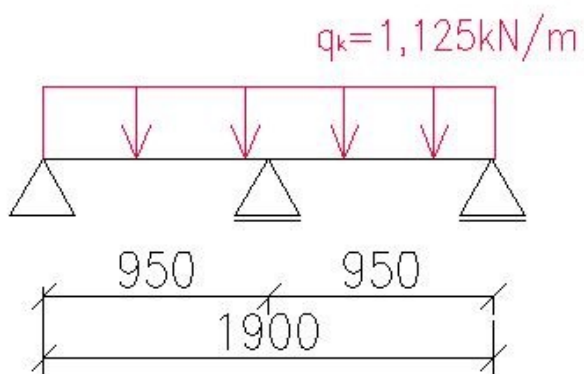
Schodiště je přístupné jak pro děti tak i pro dospělé, proto je počítáno s normovými hodnotami dle literatury [1]. Je uvažováno s kategorií C3 – plochy, kde může docházet ke shromažďování lidí. Normová hodnota pro rovnoměrné spojitě zatížení je  $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$ , a pro soustředěná užitná zatížení  $Q_k = 4 \text{ kN}$ .



Obr. 68 – Vizualizace schodiště

#### 9.4.1. Schodišťové stupně

Stupně jsou kvůli zmenšení momentu řešeny jako spojitý nosník o dvou polích. Stupně jsou tvořeny dřevěnými latěmi. Statický model schodišťových stupňů je znázorněn na obr. 69.



Obr. 69 – Statické schéma schodišťových stupňů

**Předběžný návrh rozměrů průřezu prvku:**

$$h = 50 \text{ mm}$$

$$b = 225 \text{ mm}$$

**Průřezové charakteristiky prvku:**

$$A = h \cdot b = 0,05 \cdot 0,225 = 0,0113 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,05 \cdot 0,225^3 = 2,344 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,05 \cdot 0,225^2 = 9,375 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2,344 \cdot 10^{-6}}{0,0113}} = 0,0144 \text{ m}$$

**Vlastní tíha stupňů:**

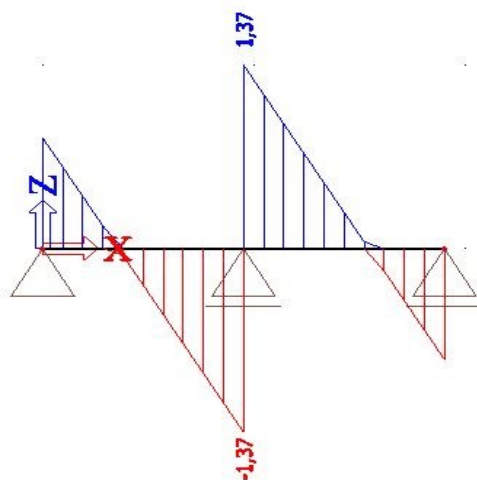
$$g_k = h \cdot b \cdot \rho = 0,05 \cdot 0,225 \cdot 3,5 = 0,0394 \text{ kN/m}$$

**Proměnné zatížení:**

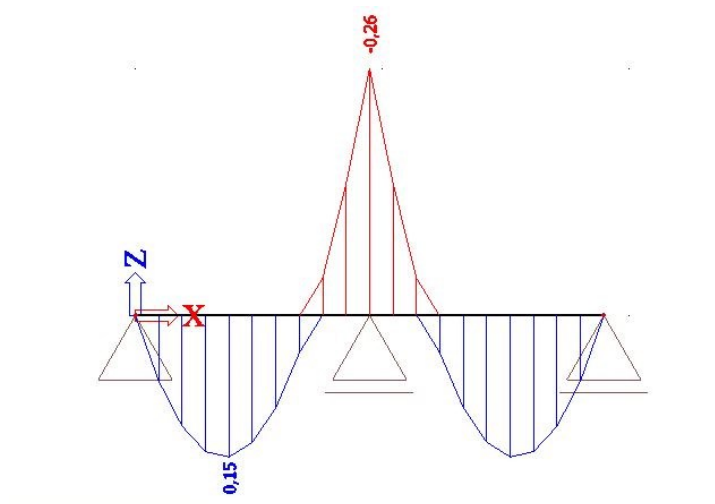
Na lať působí zatížení proměnné zatížení od uživatelů, které je rovno:

$$q_{k,uživ} = q_k \cdot b = 5 \cdot 0,225 = 1,125 \text{ kN/m}$$

Výpočet byl proveden v programu Scia Engineer 2015. Byla vytvořena kombinace MSÚ – soubor B, kde byly použity dva zatěžovací stavy – vlastní tíha stupňů a proměnné zatížení uživatelem.



Obr. 70 – Průběh posouvajících sil na nosníku



Obr. 71 – Průběh ohybových momentů na nosníku

**Maximální posouvající síla  $V_{Ed}$ :**

$$V_{Ed} = 1,37 \text{ kN}$$

**Maximální ohybový moment  $M_{Ed}$ :**

$$M_{Ed} = 0,26 \text{ kNm}$$

#### Posouzení latě na ohyb a smyk

**Návrhová pevnost v ohybu, rostlé dřevo, třída provozu 3**

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{24}{1,3} = 12 \text{ MPa}$$

**Návrhová pevnost ve smyku, rostlé dřevo, třída provozu 3**

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{2,5}{1,3} = 1,25 \text{ MPa}$$

**Normálové napětí za ohybu**

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{0,26 \cdot 10^3}{9,375 \cdot 10^{-5}} = 2,773 \text{ MPa}$$

- Nosník je po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$$

$$2,773 \leq 12$$

Nosník na ohyb vyhovuje

- Nosník není po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě

#### Kritické napětí za ohybu

$$L_{ef} = 0,8 \cdot L = 0,8 \cdot 0,95 = 0,76 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{h \cdot L_{ef}} = \frac{0,78 \cdot 0,225^2 \cdot 7400 \cdot 10^6}{0,05 \cdot 0,76} = 7\,689,671 \text{ MPa}$$

#### Poměrná štíhlost

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{7689,671 \cdot 10^6}} = 0,056$$

#### Součinitel příčné a torzní stability

$$k_{crit} = 1$$

#### Normálové napětí za ohybu

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}$$

$$2,773 \leq 1 \cdot 12$$

Nosník na ohyb vyhovuje

#### **Smykové napětí**

##### Účinná šířka průřezu

$$k_{cr} = 0,67$$

$$A_{eff} = k_{cr} \cdot b \cdot h = 0,67 \cdot 0,225 \cdot 0,05 = 0,00754 \text{ m}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1,37 \cdot 10^3}{0,00754} = 0,27 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d} = 0,27 \leq 1,25$$

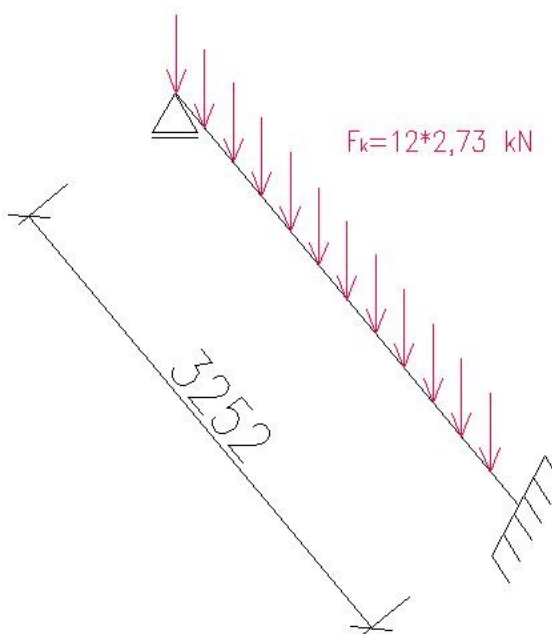
Nosník na smyk vyhovuje

### 9.4.2. Schodnice

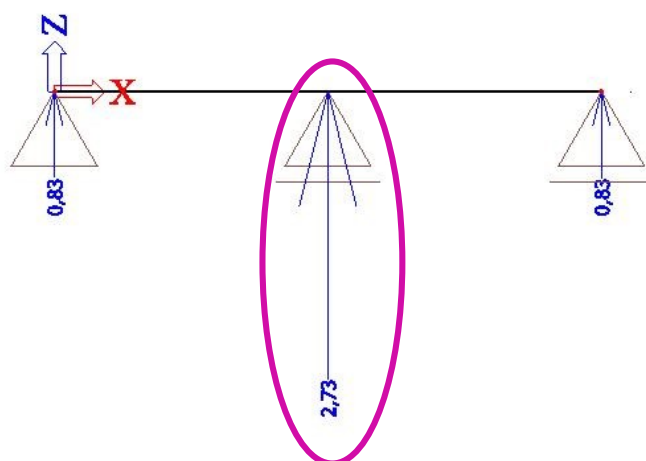
Schodnice jsou tvořeny třemi šikmými nosníky. Pro posudek byla vybrána prostřední schodnice z důvodů největších reakcí od schodišťových stupňů. Schodnice je posuzována podobně jako šikmé nosníky na rampě s tím rozdílem, že se zde počítá s lokálními silami ze schodišťových stupňů. Statické schéma schodnice je zobrazeno na obr. 72. Schodnice je z lepeného lamelového dřeva třídy GL24h.

Vertikální síla  $F$  představuje výslednou reakci z prostřední podpory schodišťových stupňů. Schodiště se složeno z 12 schodišťových stupňů.

Výsledná reakce ze schodišťových stupňů je zobrazeno na obr. 73.



Obr. 72 – Statické schéma schodnice



Obr. 73 – Výsledné reakce schodišťových stupňů

**Předběžný návrh rozměrů průřezu prvku:**

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$b = 150 \text{ mm}$$

**Průřezové charakteristiky prvku:**

$$A = h \cdot b = 0,3 \cdot 0,15 = 0,045 \text{ m}^2$$

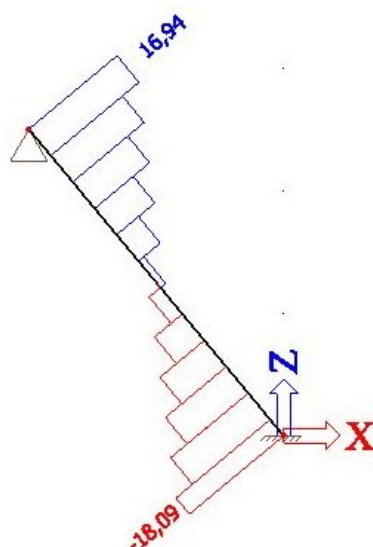
$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,15 \cdot 0,3^3 = 3,375 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,15 \cdot 0,3^2 = 2,25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

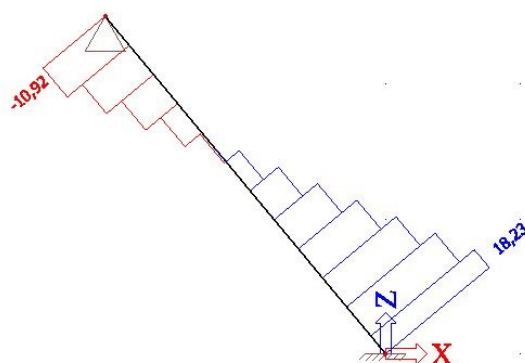
$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{3,375 \cdot 10^{-4}}{0,045}} = 0,087 \text{ m}$$

Výpočet byl proveden v programu Scia Engineer 2015. Byla vytvořena kombinace MSÚ – soubor B, kde byly použity dva zatěžovací stavy – vlastní tíha, proměnné zatížení uživateli.

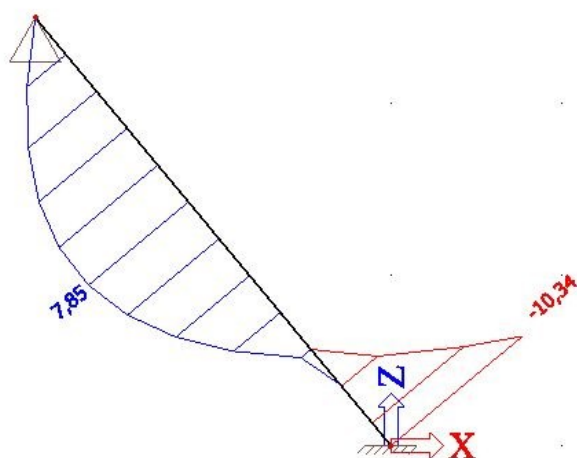




Obr. 74 – Průběh normálových sil na nosníku



Obr. 75 – Průběh posouvajících sil na nosníku



Obr. 76 – Průběh ohybových momentů na nosníku

**Maximální normálová síla  $N_{Ed}$ :**

$$N_{Ed} = 18,09 \text{ kN}$$

**Maximální posouvající síla  $V_{Ed}$ :**

$$V_{Ed} = 18,23 \text{ kN}$$

**Maximální ohybový moment  $M_{Ed}$ :**

$$M_{Ed} = 10,34 \text{ kNm}$$

**Posouzení sloupu na kombinaci ohybu a tlaku a na vzpěr**

**Návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny, rostlé dřevo, třída provozu 3**

$$f_{c,0d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{24}{1,25} = 12,48 \text{ MPa}$$

**Návrhová pevnost v ohybu, lepené lamelové dřevo, třída provozu 3**

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{24}{1,25} = 12,48 \text{ MPa}$$

**Návrhová pevnost ve smyku, lepené lamelové dřevo, třída provozu 3**

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{2,8}{1,25} = 1,456 \text{ MPa}$$

**Normálové napětí v tlaku**

$$\sigma_{c,0d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{18,09 \cdot 10^3}{0,045} = 0,4 \text{ MPa}$$

**Normálové napětí za ohybu**

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{10,34 \cdot 10^3}{2,25 \cdot 10^{-3}} = 4,596 \text{ MPa}$$

**Poměrná štíhlost**

$$L_{cr} = 0,7 \cdot L = 0,7 \cdot 3,352 = 2,346 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i_y} = \frac{2,346}{0,087} = 27,094$$

$$\lambda_{y,rel} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0k}}{E_{0,05}}} = \frac{27,094}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{7400 \cdot 10^6}} = 0,45$$

$$k_y = 0,5 \cdot [1 + \beta_c \cdot (\lambda_{y,rel} - 0,3) + \lambda_{y,rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,1 \cdot (0,45 - 0,3) + 0,45^2] \\ = 0,622$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{y,rel}^2}} = \frac{1}{0,622 + \sqrt{0,622^2 - 0,45^2}} = 0,95$$

**Posudek na kombinaci tlaku a ohybu:**

$$k_m = 0,7$$

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,402}{0,95 \cdot 12,48} + \frac{4,596}{12,48} \leq 1$$

$$0,034 + 0,368 \leq 1$$

$$0,402 \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,402}{0,95 \cdot 12,48} + 0,7 \cdot \frac{4,596}{12,48} \leq 1$$

$$0,034 + 0,258 \leq 1$$

$$0,292 \leq 1$$

Průřez vyhoví na kombinaci tlaku a ohybu

**Smykové napětí**

Účinná šířka průřezu

$$k_{cr} = 0,67$$

$$A_{eff} = k_{cr} \cdot b \cdot h = 0,67 \cdot 0,15 \cdot 0,3 = 0,03 \text{ m}^2$$

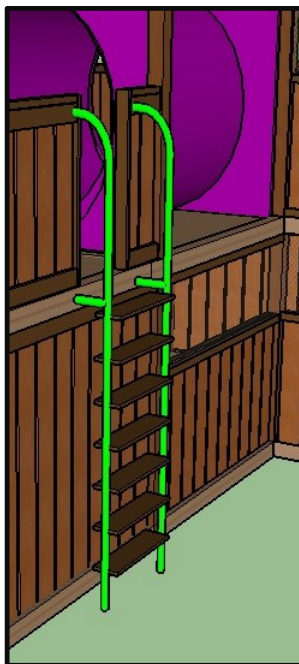
$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{18,23 \cdot 10^3}{0,03} = 0,91 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d} = 0,91 \leq 1,456$$

Průřez vyhoví na smyk

## 9.5. Žebřík

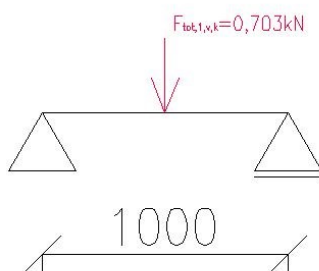
Žebřík se skládá z dřevěných stupňů a ocelových sloupků. Je přístupný pouze dětem.



Obr. 77 – Vizualizace žebříku

### 9.5.1. Stupně žebříku

Celkový počet stupňů na celém žebříku je 7. Stupně jsou z rostlého dřeva třídy C24. Délka stupně je  $L=1\text{ m}$ . Statické schéma je zvoleno jako prostý nosník viz. obr. 78.



Obr. 78 – Statické schéma stupně žebříku

**Výpočet zatížení:**

Maximální počet dětí je vztažen k průmětu délky nosníku. Jedná se o prvek, který má sklon větší než  $60^\circ$ , proto musí platit tento vztah:

$$n = \frac{L_{pr} \cdot \text{počet stupňů}}{1,2} = \frac{1 \cdot 7}{1,2} = 5,833 \cong 6 \text{ děti}$$

**Výpočet váhy a spojitého zatížení uživateli podle vztahů 5.1.8 a 5.1.10:**

$$G_n = n \cdot m + 1,64 \cdot \sigma \cdot \sqrt{n} = 6 \cdot 53,8 + 1,64 \cdot 9,6 \cdot \sqrt{6} = 361,364 \text{ kg}$$

$$C_{dyn} = 1 + \frac{1}{n} = 1 + \frac{1}{6} = 1,167$$

$$F_{tot,vk} = g \cdot G_n \cdot C_{dyn} = 10 \cdot 361,364 \cdot 1,167 = 4215,922 \text{ N} = 4,216 \text{ kN}$$

**Výsledná síla jednoho dítěte na jeden nosník:**

$$F_{tot,1,v,k} = \frac{F_{tot,vk}}{n} = \frac{4,216}{6} = 0,703 \text{ kN}$$

**Předběžný návrh rozměrů průřezu prvku:**

$$h = 30 \text{ mm}$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

**Průřezové charakteristiky prvku:**

$$A = h \cdot b = 0,03 \cdot 0,2 = 0,006 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,2 \cdot 0,03^3 = 4,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

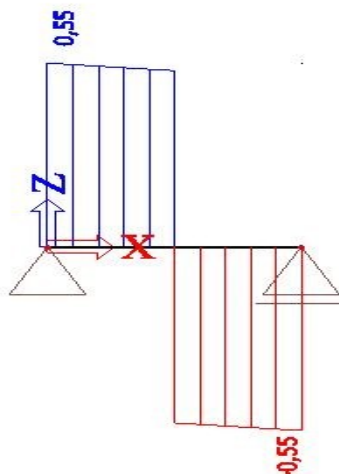
$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,2 \cdot 0,03^2 = 3,0 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{4,5 \cdot 10^{-7}}{0,006}} = 0,00866 \text{ m}$$

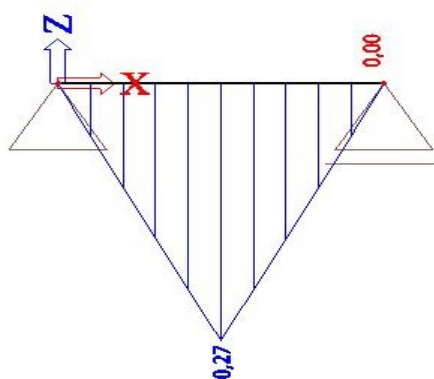
**Vlastní tíha latí:**

$$g_k = h \cdot b \cdot \rho = 0,03 \cdot 0,2 \cdot 3,5 = 0,021 \text{ kN/m}$$

Výpočet byl proveden v programu Scia Engineer 2015. Byla vytvořena kombinace MSÚ – soubor B, kde byly použity dva zatěžovací stavy – vlastní tíha latí a proměnné zatížení uživatelem.



Obr. 79 – Průběh posouvajících sil na nosníku



Obr. 80 – Průběh ohybových momentů na nosníku

**Maximální posouvající síla  $V_{Ed}$ :**

$$V_{Ed} = 0,55 \text{ kN}$$

**Maximální ohybový moment  $M_{Ed}$ :**

$$M_{Ed} = 0,27 \text{ kNm}$$

**Posouzení latě na ohyb a smyk**

**Návrhová pevnost v ohybu, rostlé dřevo, třída provozu 3**

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{24}{1,3} = 12 \text{ MPa}$$

**Návrhová pevnost ve smyku, rostlé dřevo, třída provozu 3**

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{2,5}{1,3} = 1,25 \text{ MPa}$$

**Normálové napětí za ohybu**

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{0,27 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^{-5}} = 9 \text{ MPa}$$

- Nosník je po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$$

$$9 \leq 12$$

Nosník na ohyb vyhovuje

- Nosník není po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě

Kritické napětí za ohybu

$$L_{ef} = 0,8 \cdot L = 0,9 \cdot 1 = 0,8 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{h \cdot L_{ef}} = \frac{0,78 \cdot 0,2^2 \cdot 7400 \cdot 10^6}{0,03 \cdot 0,8} = 9\,620 \text{ Mpa}$$

Poměrná štíhlost

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{9620 \cdot 10^6}} = 0,05$$

Součinitel příčné a torzní stability

$$k_{crit} = 1$$

Normálové napětí za ohybu

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}$$

$$9 \leq 1 \cdot 12$$

Nosník na ohyb vyhovuje

**Smykové napětí**Účinná šířka průřezu

$$k_{cr} = 0,67$$

$$A_{eff} = k_{cr} \cdot b \cdot h = 0,67 \cdot 0,2 \cdot 0,03 = 0,00402 \text{ m}^2$$

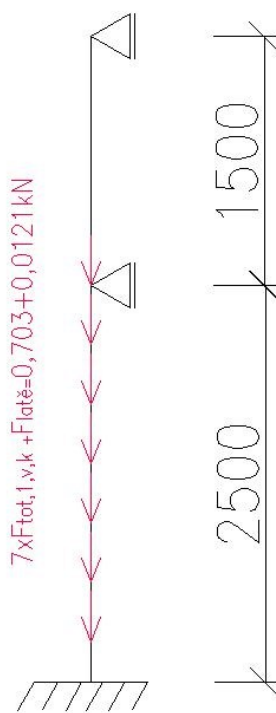
$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,98 \cdot 10^3}{0,00402} = 0,21 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d} = 0,21 \leq 1,25$$

Nosník na smyk vyhovuje

### 9.5.2. Sloup žebříku

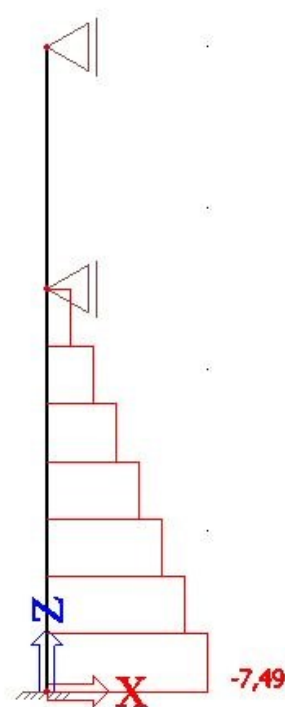
Sloup je z oceli S235J0. Statické schéma je zobrazeno na obr. 81. Schéma je spojitý sloup o celkové délce  $L=4 \text{ m}$ .



Obr. 81 – Statické schéma sloupu žebříku

Výpočet byl proveden v programu Scia Engineer 2015. Byla vytvořena kombinace MSÚ – soubor B, kde byly použity tři zatěžovací stavy – vlastní tíha, síla od ½ stupně žebříku a proměnné zatížení uživatelem.





Obr. 82 – Průběh normálových sil na nosníku

**Maximální normálová síla  $N_{Ed}$ :**

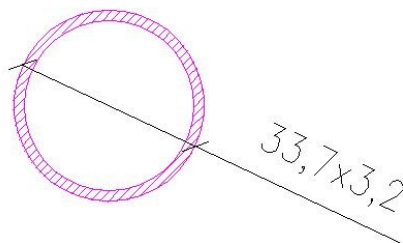
$$N_{Ed} = 7,49 \text{ kN}$$

**Předběžný návrh rozměrů průřezu prvku:**

$$\phi 33,7 \times 3,2 \text{ mm}$$

$$R = 33,7 \text{ mm}$$

$$t = 3,2 \text{ mm}$$



Obr. 83 – Průřez sloupů nosníku

**Průřezové charakteristiky prvku:**

$$A = 3,07 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$I_y = 3,6 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$W_y = 2,14 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$i_y = 0,0108 \text{ m}$$

### Výpočet součinitele vzpěrnosti:

Vzpěrná délka  $L_{cr}$  je rovna 0,7 násobku délky sloupu žebříku na kterém působí zatížení. Je počítáno s křivkou vzpěrnosti  $\alpha=0,21$ .

$$L_{cr} = 0,7 \cdot L = 0,7 \cdot 2,5 = 1,75 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \frac{L_{cr}}{i_y} = \frac{1,75}{0,0108} = 162,037$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \varepsilon = 93,9 \cdot 1 = 93,9$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{162,037}{93,9} = 1,726$$

$$\begin{aligned} \phi &= 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda_{rel} - 0,2) + \lambda_{rel}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,726 - 0,2) + 1,726^2] \\ &= 2,149 \end{aligned}$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{2,149 + \sqrt{2,149^2 - 1,726^2}} = 0,292$$

Posudek vzpěrné únosnosti:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

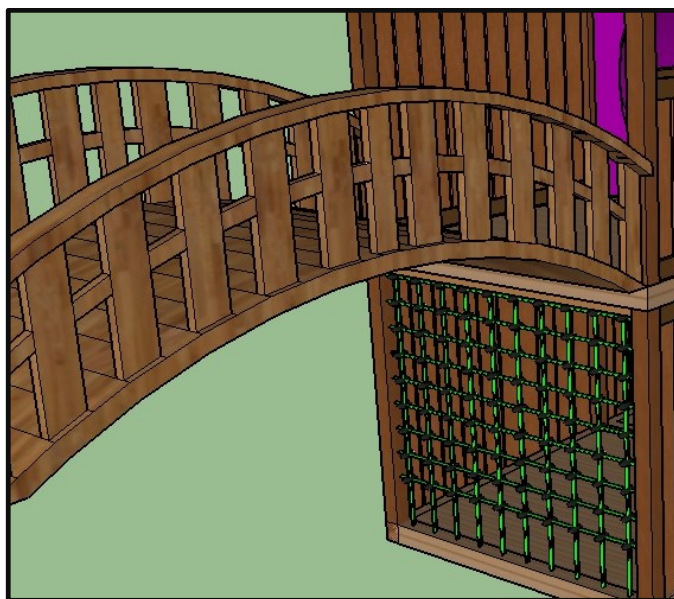
$$N_{Ed} \leq \frac{\chi \cdot f_y \cdot A}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,292 \cdot 235 \cdot 10^6 \cdot 3,07 \cdot 10^{-4}}{1} = 21,033 \text{ kN}$$

$$7,49 \leq 21,033$$

Vyhovuje na vzpěrný tlak.

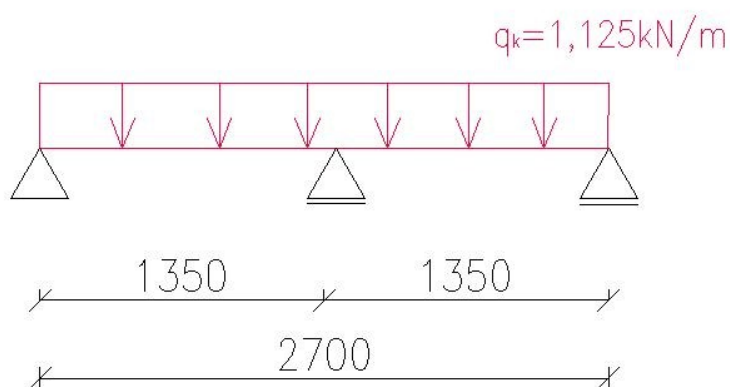
## 9.6. Vstupní most



Obr. 84 – Vizualizace vstupního mostu

### 9.6.1. Podlahové nosníky

Návrh je vytvořen z latí, které jsou připevněny na podlahový nosník. Latě jsou uvažovány jako spojitý nosník a dvou polích. Délka jedné latě je  $L=2,7\text{ m}$ . Statické schéma latí je zobrazeno na obr. 85.



Obr. 85 – Statické schéma podlahového nosníku vstupního mostu

**Předběžný návrh rozměrů průřezu prvku:**

$$h = 50 \text{ mm}$$

$$b = 225 \text{ mm}$$

**Průřezové charakteristiky prvku:**

$$A = h \cdot b = 0,05 \cdot 0,225 = 0,0113 \text{ m}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 0,225 \cdot 0,05^3 = 4,746 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 0,225 \cdot 0,05^2 = 4,219 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{4,746 \cdot 10^{-5}}{0,0113}} = 0,0648 \text{ m}$$

**Vlastní tíha latí:**

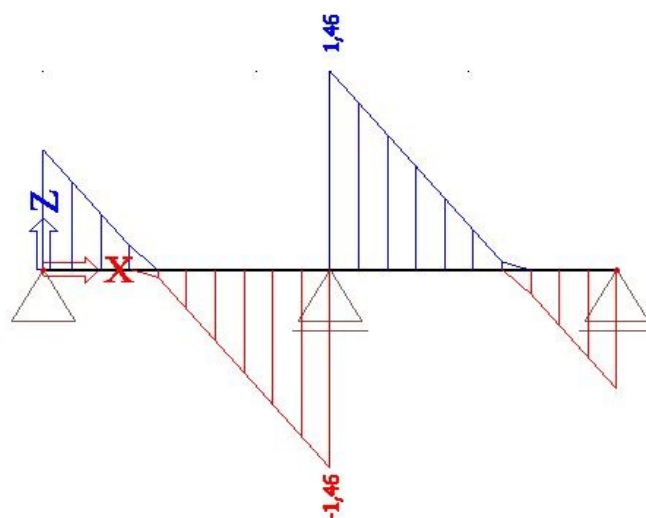
$$g_k = h \cdot b \cdot \rho = 0,05 \cdot 0,225 \cdot 3,5 = 0,0394 \text{ kN/m}$$

**Proměnné zatížení:**

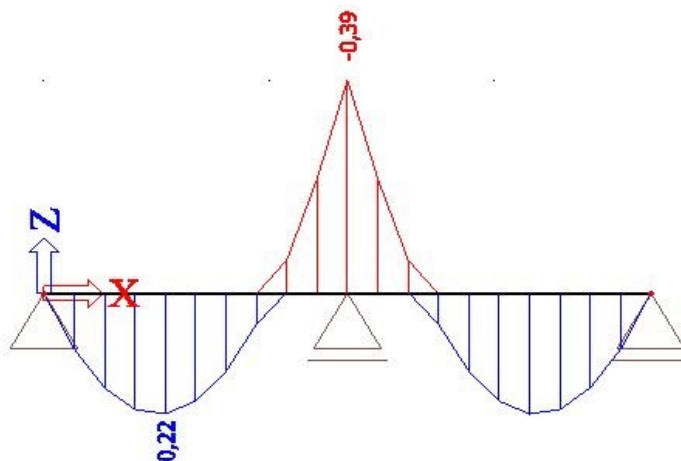
Na lat' působí zatížení proměnné zatížení od uživatelů, které je rovno:

$$q_{k,uživ} = q_k \cdot b = 5 \cdot 0,225 = 1,125 \text{ kN/m}$$

Výpočet byl proveden v programu Scia Engineer 2015. Byla vytvořena kombinace MSÚ – soubor B, kde byly použity dva zatěžovací stavy – vlastní tíha latí a proměnné zatížení uživatelem.



Obr. 86 – Průběh posouvajících sil na nosníku



Obr. 87 – Průběh ohybových momentů na nosníku

**Maximální posouvající síla  $V_{Ed}$ :**

$$V_{Ed} = 1,46 \text{ kN}$$

**Maximální ohybový moment  $M_{Ed}$ :**

$$M_{Ed} = 0,39 \text{ kNm}$$

#### Posouzení latě na ohyb a smyk

**Návrhová pevnost v ohybu, rostlé dřevo, třída provozu 3**

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{24}{1,3} = 12 \text{ MPa}$$

**Návrhová pevnost ve smyku, rostlé dřevo, třída provozu 3**

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{2,5}{1,3} = 1,25 \text{ MPa}$$

**Normálové napětí za ohybu**

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{Ed}}{W_y} = \frac{0,39 \cdot 10^3}{4,219 \cdot 10^{-4}} = 0,924 \text{ MPa}$$

- Nosník je po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d}$$

$$0,924 \leq 12$$

Nosník na ohyb vyhovuje

- Nosník není po celé délce zajištěn proti příčné a torzní nestabilitě

#### Kritické napětí za ohybu

$$L_{ef} = 0,9 \cdot L = 0,9 \cdot 1,35 = 1,215 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2 \cdot E_{0,05}}{h \cdot L_{ef}} = \frac{0,78 \cdot 0,225^2 \cdot 7400 \cdot 10^6}{0,05 \cdot 1,215} = 4\,810,0 \text{ Mpa}$$

#### Poměrná štíhlost

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24 \cdot 10^6}{4\,810 \cdot 10^6}} = 0,071$$

#### Součinitel příčné a torzní stability

$$k_{crit} = 1$$

#### Normálové napětí za ohybu

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d}$$

$$0,923 \leq 1 \cdot 12$$

Nosník na ohyb vyhovuje

#### **Smykové napětí**

#### Účinná šířka průřezu

$$k_{cr} = 0,67$$

$$A_{eff} = k_{cr} \cdot b \cdot h = 0,67 \cdot 0,225 \cdot 0,05 = 0,00754 \text{ m}^2$$

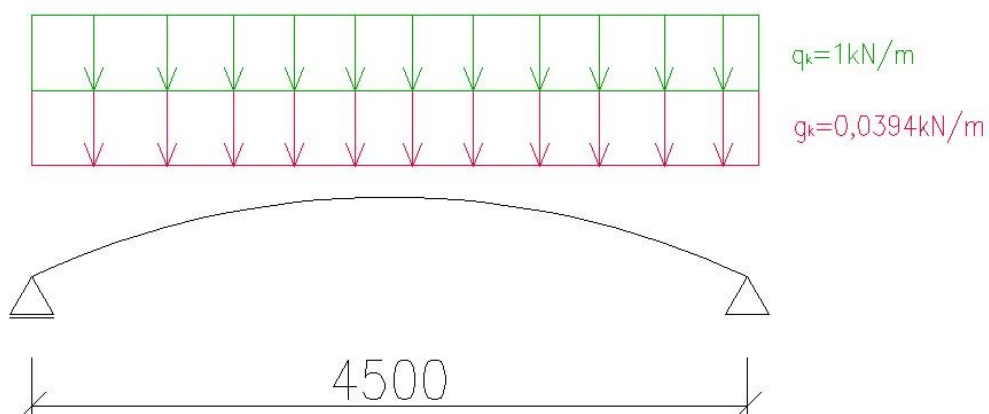
$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1,46 \cdot 10^3}{0,00754} = 0,29 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d} = 0,29 \leq 1,25$$

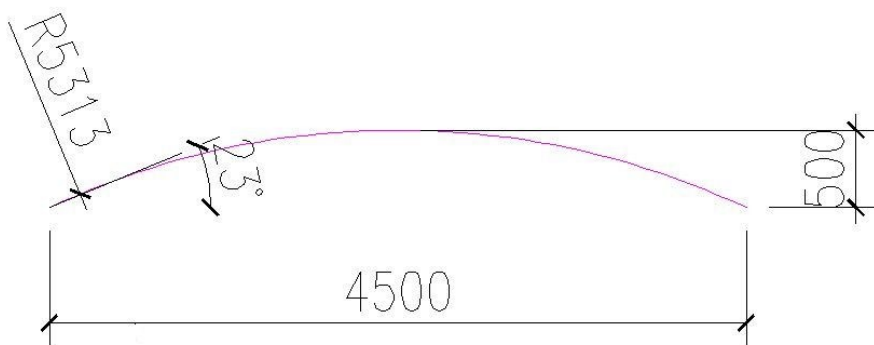
Nosník na smyk vyhovuje

### 9.6.2. Obloukový nosník

Jedná se o nosník je z lepeného lamelového dřeva GL24h. Je to obloukový nosník, jehož statické schéma je zobrazeno na obr. 88. Rozměry obloukového nosníku jsou znázorněny na obr. 89.



Obr. 88 – Statické schéma obloukového nosníku



Obr. 89 – Rozměry obloukového nosníku

#### Předběžný návrh rozměrů obloukového nosníku:

$$h = h_{ap} = 200 \text{ mm}$$

$$b = 120 \text{ mm}$$

$$t = 40 \text{ mm}$$

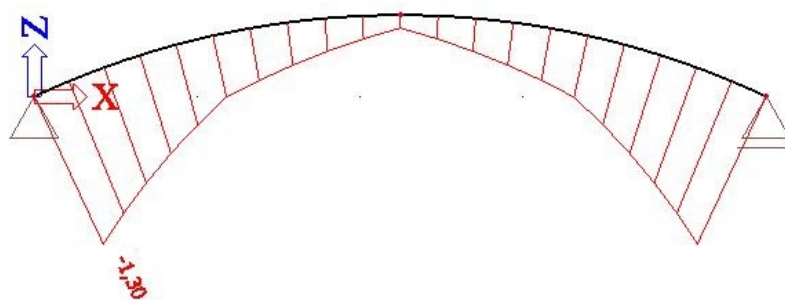
$$r_{in} = 5313 \text{ mm}$$

$$L = 4500 \text{ mm}$$

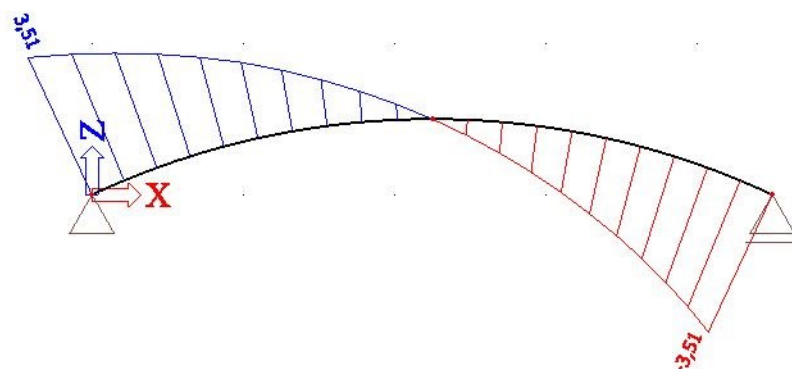
$$\alpha_{ap} = 0^\circ$$

$$\beta = 23^\circ$$

Výpočet byl proveden v programu Scia Engineer 2015. Byla vytvořena kombinace MSÚ – soubor B, kde byly použity tři zatěžovací stavy – vlastní tíha, spojitě rovnoměrné zatížení od latí a proměnné zatížení uživatelem.

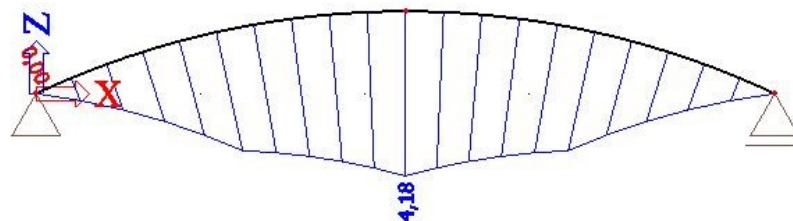


Obr. 90 – Průběh normálových sil na obloukový nosník



Obr. 91 – Průběh posouvajících sil na obloukový nosník





Obr. 92 – Průběh ohybových momentů na obloukový nosník

**Maximální normálová síla  $N_{Ed}$ :**

$$N_{Ed} = 1,3 \text{ kN}$$

**Maximální posouvající síla  $V_{Ed}$ :**

$$V_{Ed} = 3,51 \text{ kN}$$

**Maximální ohybový moment  $M_{Ed}$ :**

$$M_{Ed} = M_{ap,d} = 4,18 \text{ kNm}$$

**Návrhové pevnosti:**

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{24}{1,25} = 12,48 \text{ MPa}$$

$$f_{t,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{0,35}{1,25} = 0,182 \text{ MPa}$$

**Posouzení nosníku na ohyb:**

Napětí v ohybu ve vrcholu oblouku se vypočítá podle následujícího vztahu:

$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} \quad (9.6.2.1)$$

$$k_l = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^3 \quad (9.6.2.2)$$

kde:

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 5,4 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 1 + 1,4 \cdot 0 + 5,4 \cdot 0 = 1 \quad (9.6.2.3)$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} = 0,35 - 8 \cdot 0 = 0,35 \quad (9.6.2.4)$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 7,8 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 0,6 + 8,3 \cdot 0 - 7,8 \cdot 0 = 0,6 \quad (9.6.2.5)$$

$$k_4 = 6 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 6 \cdot 0 = 0 \quad (9.6.2.6)$$

$$r = r_{in} + 0,5 \cdot h_{ap} = 5313 + 0,5 \cdot 200 = 5413 \text{ mm} \quad (9.6.2.7)$$

$$k_l = 1 + 0,35 \cdot \left(\frac{200}{5413}\right) + 0,6 \cdot \left(\frac{200}{5413}\right)^2 + 0 \cdot \left(\frac{200}{5413}\right)^3 = 1,014 \quad (9.6.2.8)$$

$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 1,014 \cdot \frac{6 \cdot 4,18 \cdot 10^6}{120 \cdot 200^2} = 5,297 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (9.6.2.9)$$

Ve vrcholové části musí napětí v ohybu splňovat následující podmínku:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_r \cdot f_{m,d}} \leq 1 \quad (9.6.2.10)$$

Pro:

$$\frac{r_{in}}{t} = \frac{5313}{40} = 132,825 < 240 \Rightarrow k_r = 0,76 + 0,001 \cdot \frac{r_{in}}{t} = 0,893 \quad (9.6.2.11)$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_r \cdot f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{5,297}{0,893 \cdot 12,48} \leq 1$$

$$0,475 \leq 1$$

Nosník na ohyb ve vrcholové části vyhovuje.

**Posouzení nosníku na tak kolmo k vláknům:**

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} \quad (9.6.2.12)$$

$$k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 \quad (9.6.2.13)$$

kde:

$$k_5 = 0,2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} = 0,2 \cdot 0 = 0 \quad (9.6.2.14)$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 2,6 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 0,25 - 1,5 \cdot 0 + 2,6 \cdot 0 = 0,25 \quad (9.6.2.15)$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 4 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} = 2,1 \cdot 0 - 4 \cdot 0 = 0 \quad (9.6.2.16)$$

$$k_p = 0 + 0,25 \cdot \left(\frac{200}{5413}\right) + 0 \cdot \left(\frac{200}{5413}\right)^2 = 0,0092 \quad (9.6.2.17)$$

$$\sigma_{m,d} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2} = 0,0092 \cdot \frac{6 \cdot 4,18 \cdot 10^6}{120 \cdot 200^2} = 0,048 \frac{N}{mm^2} \quad (9.6.2.18)$$

Pro referenční objem  $V_0=0,01 \text{ m}^3$  a objem vrcholové části  $V$

$$\begin{aligned} V &= \frac{\beta \cdot \pi}{180} \cdot b \cdot (h_{ap}^2 + 2 \cdot r_{in} \cdot h_{ap}) = \frac{23 \cdot \pi}{180} \cdot 0,12 \cdot (0,2^2 + 2 \cdot 5,313 \cdot 0,2) \\ &= 0,104 \text{ m}^3 \end{aligned} \quad (9.6.2.19)$$

stanovíme součinitel objemu:

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^2 = \left(\frac{0,01}{0,104}\right)^2 = 0,626 \quad (9.6.2.20)$$

$k_{dis} = 1,4$  pro zakřivené nosníky

Největší napětí v tahu kolmo k vláknům způsobené ohybovým momentem se má vypočítat podle vztahu:

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}} \leq 1 \quad (9.6.2.21)$$

$$\frac{0,048}{1,4 \cdot 0,626 \cdot 0,182} \leq 1$$

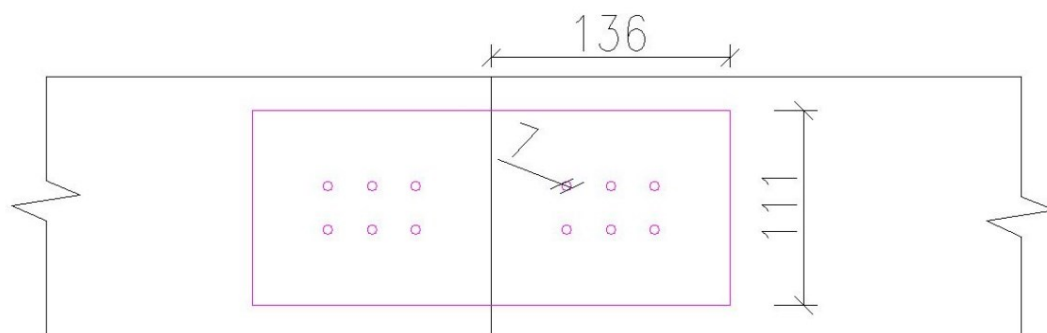
$$0,303 \leq 1$$

Nosník na tah kolmo k vláknům vyhovuje.

## 10. Vybrané spoje

### 10.1. Přípoj: příčel-příčel

Jelikož je uvažovaná délka příčle  $L=5$  m, musí se jednotlivé příčle spojovat. Spoj bude pomocí příložného plechu. Spoj bude posuzován jako jednostřížně namáhaný přípoj typu ocel-dřevo. Jedná se o ocelovou desku typu oceli S235J0.  $f_y=235$  MPa, Jedná se o hladké nepředvrtané hřebíky, kruhového profilu. Je použito celkem 6 hřebíků.



Obr. 93 – Spoj: příčel-příčel

#### Návrh ocelové desky:

$$tl. = 3 \text{ mm}$$

$$délka = 136 \text{ mm}$$

$$výška = 111 \text{ mm}$$

#### Návrh hřebíku:

$$d = 6 \text{ mm}$$

$$L = 80 \text{ mm}$$

$$t_1 = 77 \text{ mm}$$

Charakteristická únosnost spoje ocel-dřevo je závislá na tloušťce desek. Podle literatury [3,5], budeme posuzovat tento přípoj pro tenkou desku jednostřížně namáhanou, protože tloušťka desky je menší nebo rovno 0,5d. Charakteristická únosnost hřebíku pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku se vypočítá podle vztahu zobrazeného na obr. 94.

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,4 f_{h,k} t_1 d \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{cases}$$

Obr. 94 – Jednostřížně namáhaný spoj typu ocel-dřevo pro tenkou desku [5]

**Plastický moment únosnosti:**

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 360 \cdot 6^{2,6} = 11\,392,45 \frac{N}{mm} \quad (10.1.1)$$

Charakteristická pevnost v otláčení:

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 350 \cdot 6^{-0,3} = 16,766 \frac{N}{mm^2} \quad (10.1.2)$$

**Charakteristická únosnost hřebíku:**

$$F_{v,Rk} = 1,741 \text{ kN}$$

**Návrhová únosnost hřebíku:**

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{1,741}{1,3} = 0,87 \text{ kN} \quad (10.1.3)$$

**Posudek příčně zatížených hřebíků:**

Vzhledem k tomu, že je na každý přípoj použito 6 spojovacích prostředků, únosnost se musí vynásobit šesti. Posudek se provede podle následujícího vztahu 10.1.4:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd} \cdot 6} \leq 1 \quad (10.1.4)$$

$$\frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd} \cdot 6} \leq 1$$

$$\frac{3,34}{0,87 \cdot 6} \leq 1$$

$$0,639 \leq 1$$

Přípoj vyhovuje na příčné zatížení.

**Posudek desky na smyk:**

$$A_v = (3 \cdot 111) - ((7 \cdot 2) \cdot 3) = 291 \text{ mm}^2 \quad (10.1.5)$$

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2,91 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1} = 39,482 \text{ kN} \quad (10.1.6)$$

Posudek:

Jelikož bude ocelová deska z obou stran, každá z desek převezme polovinu posouvající síly.

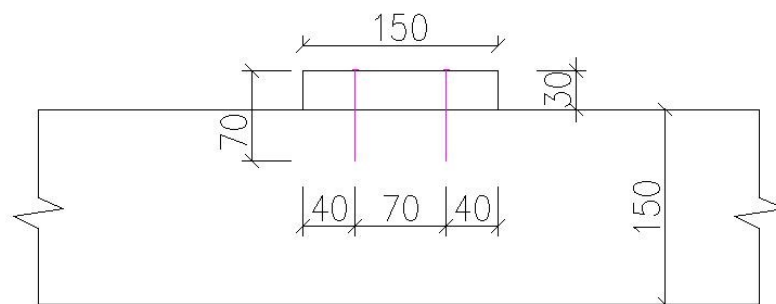
$$V_{Ed}/2 \leq V_{Rd}$$

$$3,34/2 \leq 39,482$$

Ocelová deska vyhoví na smyk.

**10.2. Přípoj latě na příčel**

Jedná se o jednostřížný přípoj typu dřevo – dřevo. Jsou použity drážkované vrutové spoje. Na každé připojení latě k příčli jsou použity dva vruty. Spoj bude namáhaný osovým zatížením  $V_{Ed}$ .



Obr. 95 – Přípoj: lať k příčli

**Návrh vrutů:**

$$d = 4 \text{ mm}$$

$$L = 70 \text{ mm}$$

$$t_1 = 30 \text{ mm}$$

$$t_2 = 40 \text{ mm}$$

Charakteristická únosnost proti vytažení spojovacího prostředku osovým zatížením se má uvažovat takto:

$$F_{ax,Rk} = n_{ef} \cdot (\pi \cdot d \cdot l_{ef})^{0,8} \cdot f_{ax,\alpha,k} \quad (10.2.1)$$

**Účinný počet vrutů:**

$$n_{ef} = n^{0,9} = 2^{0,9} = 1,87 \quad (10.2.2)$$

**Délka vniku zmenšená o jeden průměr vrutu:**

$$\begin{aligned} l_{ef} &= l - d = 70 - 4 \\ &= 66 \text{ mm} \end{aligned} \quad (10.2.3)$$

**Pevnost proti vytažení spojovacího prostředku kolmo k vláknům:**

$$f_{ax,k} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_k^{1,5} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 350^{1,5} = 23,572 \text{ N} \quad (10.2.4)$$

$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2 \alpha + 1,5 \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{23,572}{1} = 23,572 \text{ N} \quad (10.2.5)$$

$$F_{ax,Rk} = n_{ef} \cdot (\pi \cdot d \cdot l_{ef})^{0,8} \cdot f_{ax,\alpha,k} = 1,87 \cdot (\pi \cdot 4 \cdot 66)^{0,8} \cdot 23,572 = 9513,275 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{ax,Rk}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{9513,275}{1,3} = 4756,687 \text{ N} \quad (10.2.6)$$

**Posouzení osově zatížených vrutů:**

$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \leq 1 \quad (10.2.7)$$

$$\frac{V_{Ed}}{F_{ax,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{0,98}{4,767} \leq 1$$

$$0,21 \leq 1$$

Přípoj latě na příčel vyhovuje osovému zatížení.

### 10.3. Přípoj latí na šikmý nosník

Jsou použity ocelové drážkované vrutové spoje. Na každé připojení latě k šikmému nosníku jsou použity dva vruty. Spoj bude namáhaný jak příčným zatížením ke spojovacímu

prostředku silou  $V_{Ed,y}$ , tak osovým zatížením  $V_{Ed,z}$ , které bude způsobovat vytažení spoje ze dřeva. Jedná se o nepředvrtaný vrut se zapuštěnou čochkovou hlavou, z pozinkované oceli.

#### Návrh vrutů:

$$d = 6 \text{ mm}$$

$$L = 120 \text{ mm}$$

$$t_1 = 50 \text{ mm}$$

$$t_2 = 70 \text{ mm}$$

#### Příčně zatížené vruty:

Jedná se o jednostržný spoj typu dřevo-dřevo. Kde charakteristická únosnost pro jeden strž jednoho spojovacího prostředku se vypočítá podle následujícího vztahu:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \\ f_{h,2,k} t_2 d \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[ \sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

Obr. 96 – Jednostržný spoj typu dřevo-dřevo [5]

#### Plastický moment únosnosti:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 360 \cdot 6^{2,6} = 11\,392,45 \text{ N/mm}$$

#### Charakteristická pevnost v otláčení:

$$f_{h,1,k} = f_{h,1,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 350 \cdot 6^{-0,3} = 16,766 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (10.3.1)$$

$$\beta = \frac{f_{h,1,k}}{f_{h,2,k}} = \frac{16,766}{16,766} = 1 \quad (10.3.2)$$

#### Charakteristická únosnost hřebíku:

$$F_{v,Rk} = 1,741 \text{ kN}$$



**Návrhová únosnost hřebíku:**

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{1,741}{1,3} = 0,87 \text{ kN}$$

**Osově zatížené vruty:****Účinný počet vrutů:**

$$n_{ef} = n^{0,9} = 2^{0,9} = 1,87$$

**Délka vniku zmenšená o jeden průměr vrutu:**

$$l_{ef} = l - d = 120 - 6 = 114 \text{ mm}$$

**Pevnost proti vytažení spojovacího prostředku kolmo k vláknům:**

$$f_{ax,k} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_k^{1,5} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 350^{1,5} = 23,572 \text{ N}$$

$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2 \alpha + 1,5 \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{23,672}{1} = 23,672 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rk} = n_{ef} \cdot (\pi \cdot d \cdot l_{ef})^{0,8} \cdot f_{ax,\alpha,k} = 1,87 \cdot (\pi \cdot 4 \cdot 114)^{0,8} \cdot 23,627 = 8460,564 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{ax,Rk}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{8,461}{1,3} = 4,23 \text{ kN}$$

**Posudek příčně a osově zatížené vruty:**

Vzhledem k tomu, že jsou na každý přípoj použité 2 spojovacích prostředků, únosnost se musí vynásobit dvěma. Posudek se provede podle následujícího vztahu 10.3.3:

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd} \cdot 2}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd} \cdot 2}\right)^2 \leq 1 \quad (10.3.3)$$

$$\left(\frac{V_{Ed,y}}{F_{ax,Rd} \cdot 2}\right)^2 + \left(\frac{V_{Ed,z}}{F_{v,Rd} \cdot 2}\right)^2 \leq 1$$

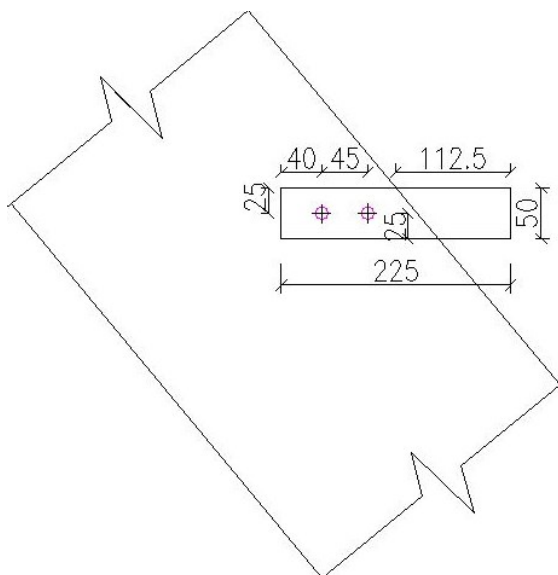
$$\left(\frac{0,93}{4,23 \cdot 2}\right)^2 + \left(\frac{0,79}{0,87 \cdot 2}\right)^2 \leq 1$$

$$0,254 \leq 1$$

Vruty vyhovují na kombinaci osového a příčného zatížení.

#### 10.4. Přípoj schodišťového stupně na krajní schodnice

Použity jsou ocelové drážkové vrutové spoje. Dva spoje na každé připojení stupně ke schodnici. Spoj bude namáhaný příčným zatížením ke spojovacímu prostředku silou  $V_{Ed}$  od schodišťového stupně. Jedná se o nepředvrtaný vrut se zapuštěnou čoučkovou hlavou, z pozinkované oceli.



Obr. 97 – Spoj schodišťového stupně na schodnici

##### Návrh vrutů:

$$d = 6 \text{ mm}$$

$$L = 220 \text{ mm}$$

$$t_1 = 150 \text{ mm}$$

$$t_2 = 70 \text{ mm}$$

Jedná se o jednostřížný spoj typu dřevo-dřevo. Kde charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku se vypočítá podle následujícího vztahu zobrazený na obr. 96.

##### Plastický moment únosnosti:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 360 \cdot 6^{2,6} = 11\,392,45 \text{ N/mm}$$

##### Charakteristická pevnost v otláčení:

$$f_{h,1,k} = f_{h,1,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 350 \cdot 6^{-0,3} = 16,766 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta = \frac{f_{h,1,k}}{f_{h,2,k}} = \frac{16,766}{16,766} = 1$$

**Charakteristická únosnost hřebíku:**

$$F_{v,Rk} = 1,741 \text{ kN}$$

**Návrhová únosnost hřebíku:**

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{1,741}{1,3} = 0,87 \text{ kN}$$

**Posudek příčně zatížených hřebíků:**

Vzhledem k tomu, že jsou na každý přípoj použité 2 spojovacích prostředků, únosnost se musí vynásobit dvěma. Posudek se provede podle následujícího vztahu:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd} \cdot 2} \leq 1$$

$$\frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd} \cdot 2} \leq 1$$

$$\frac{1,37}{0,87 \cdot 2} \leq 1$$

$$0,787 \leq 1$$

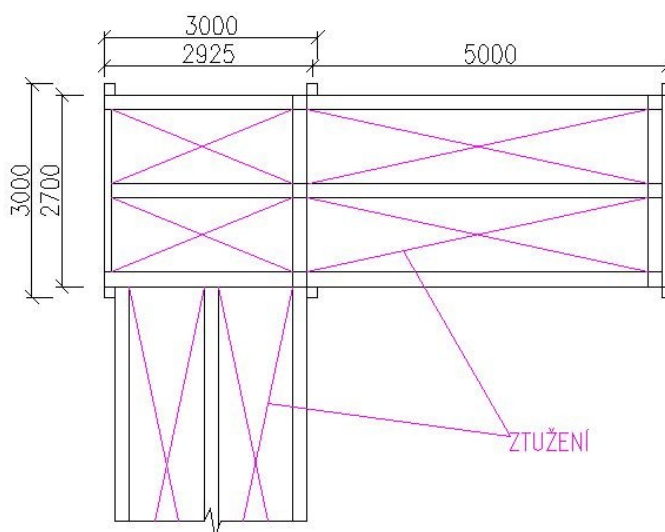
Přípoj vyhovuje na příčné zatížení.

## 11. Závěr

Cílem této práce je návrh a výpočet jednotlivých prvků dřevěného hradu, který je součástí zábavního parku. Tento zábavní park je umístěn v Ostravě, a skládá se z dětského hřiště, altánu s občerstvením, dřevěného hradu a také vstupní budovy, která slouží k prodeji vstupenek. Návrh je proveden podle platných bezpečnostních a normativních požadavků. Sestava je provedena tak, aby nedošlo k žádným zraněním a komplikacím při hře. Hrad není určen jen pro děti do 14 let, ale také pro rodiče. Pokud by nastaly komplikace při hře, je umožněn vstup do druhého patra pomocí záchranného žebříku, který je umístěn ve vstupní budově. Ve veškerém prostoru pod hracími prvky je umístěn tlumící dopad – litý polyuretan. Hrad je založen na betonových základech. Tyto základy nepředstavují nebezpečí, protože se nacházejí v dostatečné vzdálenosti pod povrchem. Je však nutná pravidelná kontrola dřevěných prvků a všech spojů.

Ztužení podlahy je řešeno pomocí dřevěných tzv. „ondřejských křížů“ viz. Obr 98. Ztužení je také v místech, kde dosedá střecha na sloupy, v tomto místě je ztužení provedeno pomocí ocelových profilů.

Veškeré užité zatížení je počítáno jako střednědobé. Je počítáno se zatížení uživateli a na některé prvky působícím větrem. Se sněhem není počítáno, protože není předpoklad současného působení dětí a sněhu, jelikož bude za nepřízní počasí zábavní park uzavřen.



Obr. 98 – Ztužení

## Seznam použité literatury a zdrojů informací

- [1] **ČSN EN 1991-1-1 (Eurokód 1):** Zatížení konstrukcí – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: ČNI, 2004.
- [2] **ČSN EN 1176-1** Zařízení a povrch dětského hřiště – Část 1: Všeobecné bezpečnostní požadavky a zkušební metody
- [3] **ČSN EN 1995 -1-1 (Eurokód 5):** Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1 – 1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [4] **ČSN EN 73 1702:** Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí – Obecná pravidla pro pozemní stavby
- [5] **KUKLÍK Petr. Příručka 2:** Navrhování dřevěných konstrukcí podle Eurokódu 5[online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z:  
[http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook\\_2\\_CZ.pdf](http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook_2_CZ.pdf)
- [6] **KUKLÍK Petr. Dřevěné konstrukce 10: Základy navrhování.** Druhé vydání. 141str., Praha: ČVUT, 2004.
- [7] **WAWRZICZEK, D. Dřevěná multifunkční sestava dětského hřiště:** bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí, 2014, 125 s. Vedoucí práce: Ing. Kristýna Vavrušová, Ph.D.
- [8] **Tlaková impregnace Wolmanit CX,** [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z:  
<http://www.palis.cz/sluzby/tlakova-impregnace-dreva>
- [9] **Amusement park-zabavní park.** [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Amusement\\_park](https://en.wikipedia.org/wiki/Amusement_park)
- [10] **Zábavní park – historie českých zemí,** [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z:  
[https://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1bavn%C3%AD\\_park](https://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1bavn%C3%AD_park)
- [11] **Jutové lano,** [online]. [cit. 2016-04-25]. Dostupné z:  
<http://www.e-provaznictvi.cz/c/lana-pro-hru-a-zabavu/lana-na-splh>
- [12] **Protipádový povrch – Prolemax,** [online]. [cit 2016-04-25]. Dostupné z:  
<http://www.prolemax.cz/protipadove-povrchy/lity-polyuretan>
- [13] **Zábavní park - Epcot,** [online]. [cit 2016-04-25]. Dostupné z:  
<https://disneyworld.disney.go.com/destinations/epcot/>

**SEZNAM POUŽITÝCH PROGRAMŮ**

Microsoft Word 2014

Microsoft Excel 2014

SketchUp Make 2016

SCIA Engineer 2015

AutoCAD Architecture 2014

## Seznam obrázků

Obr. 1 - Struktura jehličnatých dřevin [6].....	- 15 -
Obr. 2 – Struktura listnatých dřevin [6].....	- 15 -
Obr. 3 – Makroskopická struktura dřeva [6].....	- 17 -
Obr. 4 – Pracovní diagram dřeva .....	- 17 -
Obr. 5 – Vauxhall Gardens [9].....	- 20 -
Obr. 6 – Coney Island [9] .....	- 21 -
Obr. 7 – Walt Disney World [9] .....	- 21 -
Obr. 8 – Epcot [13] .....	- 22 -
Obr. 9 – Zábavní park: celý pohled .....	- 23 -
Obr. 10 – Zábavní park: pohled 1 .....	- 23 -
Obr. 11 – Zábavní park: pohled 2 .....	- 24 -
Obr. 12 – Vstup zábavního parku .....	- 24 -
Obr. 13 – Věže č. 13, 14 .....	- 25 -
Obr. 14 – Věže č. 6, 7, 9 a tunel .....	- 26 -
Obr. 15 – Věže č. 5, 11 .....	- 26 -
Obr. 16 - Pohled na vstup do hradu .....	- 26 -
Obr. 17 – Jutové lano [11] .....	- 27 -
Obr. 18 – Tlaková impregnace [8].....	- 28 -
Obr. 19 – Skladba bezpečnostního povrchu [12].....	- 29 -
Obr. 20 – Výchozí rychlosti větru pro ČR.....	- 36 -
Obr. 21 – Vizualizace podlahových prken.....	- 39 -
Obr. 22 – Statické schéma latí .....	- 40 -
Obr. 23 – Průběh posouvajících sil na nosníku .....	- 40 -
Obr. 24 – Průběh ohybových momentů na nosníku.....	- 41 -
Obr. 25 – Vizualizace příčlí .....	- 43 -
Obr. 26 – Statické schéma příčle .....	- 44 -
Obr. 27 - Průběh posouvajících sil na nosníku .....	- 44 -
Obr. 28 - Průběh ohybových momentů na nosníku .....	- 45 -
Obr. 29 – Vizualizace sloupu a příčlí .....	- 47 -
Obr. 30 – Příčle 1 .....	- 48 -
Obr. 31 – Příčle 2 .....	- 49 -
Obr. 32 – Užité zatížení .....	- 50 -
Obr. 33 – Statické schéma sloupu.....	- 51 -
Obr. 34 – Průběh normálových sil na sloupu.....	- 52 -
Obr. 35 – Průběh posouvajících sil na sloupu .....	- 52 -
Obr. 36 – Průběh ohybových momentů na sloupu.....	- 53 -
Obr. 37 – Schéma a vizualizace požární tyče .....	- 56 -
Obr. 38 – Průřez požární tyče .....	- 57 -
Obr. 39 – Statické schéma požární tyče.....	- 58 -
Obr. 40 – Vizualizace spojovacího mostku .....	- 59 -
Obr. 41 – Vizualizace spojovacího mostku .....	- 60 -
Obr. 42 – Statické schéma podlahového nosníku .....	- 61 -
Obr. 43 – Průběh posouvajících sil na nosníku .....	- 62 -
Obr. 44 – Průběh ohybových momentů na nosníku.....	- 62 -

Obr. 45 – Průřez vodorovného nosníku .....	- 64 -
Obr. 46 – Statické schéma vodorovného nosníku.....	- 65 -
Obr. 47 – Průběh posouvajících sil na nosníku .....	- 65 -
Obr. 48 – Průběh ohybových momentů na nosníku.....	- 66 -
Obr. 49 – Vizualizace rampy s lany.....	- 67 -
Obr. 50 – Sklon rampy.....	- 68 -
Obr. 51 – Rozložení sil .....	- 69 -
Obr. 52 – Statické schéma $F_y$ .....	- 69 -
Obr. 53 – Statické schéma $F_z$ .....	- 69 -
Obr. 54 – Statické schéma $F_{tot,v}$ .....	- 70 -
Obr. 55 – Průběh posouvajících sil – $F_{tot,v}$ .....	- 71 -
Obr. 56 – Průběh ohybových momentů na nosníku - $F_y$ .....	- 71 -
Obr. 57 – Průběh ohybových momentů na nosníku - $F_z$ .....	- 71 -
Obr. 58 - Statické schéma $F_y$ .....	- 73 -
Obr. 59 - Statické schéma $F_z$ .....	- 74 -
Obr. 60 - Statické schéma $F_{tot,v}$ .....	- 74 -
Obr. 61 - Průběh posouvajících sil – $F_{tot,v}$ .....	- 75 -
Obr. 62 – Průběh ohybových momentů na nosníku - $F_y$ .....	- 75 -
Obr. 63 – Průběh ohybových momentů na nosníku – $F_z$ .....	- 76 -
Obr. 64 – Statické schéma šikmého nosníku .....	- 78 -
Obr. 65 – Průběh normálových sil na šikmý nosník.....	- 79 -
Obr. 66 – Průběh posouvajících sil na šikmý nosník.....	- 79 -
Obr. 67 – Průběh ohybových momentů na šikmý nosník.....	- 80 -
Obr. 68 – Vizualizace schodiště .....	- 83 -
Obr. 69 – Statické schéma schodišťových stupňů .....	- 83 -
Obr. 70 – Průběh posouvajících sil na nosníku .....	- 84 -
Obr. 71 – Průběh ohybových momentů na nosníku.....	- 85 -
Obr. 72 – Statické schéma schodnice .....	- 87 -
Obr. 73 – Výsledné reakce schodišťových stupňů.....	- 88 -
Obr. 74 – Průběh normálových sil na nosníku.....	- 89 -
Obr. 75 – Průběh posouvajících sil na nosníku .....	- 89 -
Obr. 76 – Průběh ohybových momentů na nosníku.....	- 89 -
Obr. 77 – Vizualizace žebříku .....	- 92 -
Obr. 78 – Statické schéma stupně žebříku .....	- 92 -
Obr. 79 – Průběh posouvajících sil na nosníku .....	- 94 -
Obr. 80 – Průběh ohybových momentů na nosníku.....	- 94 -
Obr. 81 – Statické schéma sloupu žebříku.....	- 96 -
Obr. 82 – Průběh normálových sil na nosníku.....	- 97 -
Obr. 83 – Průřez sloupu nosníku .....	- 97 -
Obr. 84 – Vizualizace vstupního mostu.....	- 99 -
Obr. 85 – Statické schéma podlahového nosníku vstupního mostu .....	- 99 -
Obr. 86 – Průběh posouvajících sil na nosníku .....	- 100 -
Obr. 87 – Průběh ohybových momentů na nosníku.....	- 101 -
Obr. 88 – Statické schéma obloukového nosníku.....	- 103 -
Obr. 89 – Rozměry obloukového nosníku .....	- 103 -
Obr. 90 – Průběh normálových sil na obloukový nosník .....	- 104 -
Obr. 91 – Průběh posouvajících sil na obloukový nosník .....	- 104 -



Obr. 92 – Průběh ohybových momentů na obloukový nosník .....	- 105 -
Obr. 93 – Spoj: příčel-příčel .....	- 108 -
Obr. 94 – Jednostřížně namáhaný spoj typu ocel-dřevo pro tenkou desku [5].....	- 109 -
Obr. 95 – Přípoj: lať k příčli .....	- 110 -
Obr. 96 – Jednostřížný spoj typu dřevo-dřevo [5] .....	- 112 -
Obr. 97 – Spoj schodišťového stupně na schodnici .....	- 114 -
Obr. 98 – Ztužení .....	- 116 -

## Seznam tabulek

Tabulka 1- Příklady druhů dřevin .....	- 14 -
Tabulka 2 – Materiálové charakteristiky RD a LLD .....	- 35 -
Tabulka 3 – Hodnoty $c_{pi}$ .....	- 38 -
Tabulka 4 – Výsledné tlaky a sání větru .....	- 38 -

## Seznam příloh

### Příloha 1.

Řez dětským hřištěm s bezpečnostním povrchem SUPERELASTIC EPDM.

### Příloha 2.

Vizualizace zábavního parku – dřevěného hradu.

### Příloha 3.

Výkresová dokumentace:

Číslo výkresu	Název	Měřítko
FOJ0049 - 1	Půdorys hradu	1:100
FOJ0049 - 2	Pohled A	1:100
FOJ0049 - 3	Pohled B	1:100
FOJ0049 - 4	Pohled C	1:100
FOJ0049 - 5	Pohled D	1:100
FOJ0049 - 6	Věž	1:100
FOJ0049 - 7	Spojovací mostek	1:50
FOJ0049 - 8	Vstupní most	1:50